

IPC-7095B

Международный стандарт: «Проектирование и внедрение процессов сборки с применением BGA»

(Перевод на русский язык, редакция №11.2008)

Примечание: настоящий перевод распространяется только с официальной вер-сией на английском языке. Регулирующей версией является версия на английском языке. В случае разночтений необходимо руководствоваться версией на английском языке.

Разработан координационным комитетом производителей приборов, ассоциация IPC

IPC-7095B
Март 2008
Замещает стандарты:
IPC-7095A - октябрь 2004
IPC-7095 - август 2000

Стандарт разработан ассоциацией IPC

Перевод выполнен:
ЗАО Предприятие Остек
121467, РФ, г. Москва,
ул. Молдавская, д.5, стр.2
тел.: (495) 788-44-44
факс: (495) 788-44-42
E-mail: info@ostec-smt.ru
Интернет: www.ostec-smt.ru

Содержание

Рисунки

Таблицы

Эта страница преднамеренно оставлена пустой

Проектирование и внедрение процессов сборки с применением BGA

1 ТЕМА РУКОВОДСТВА

В данном документе приведено описание проблем, возникающих при разработке и сборке систем с применением технологий Ball Grid Array (BGA) (корпус с матрицей шариковых выводов) и Fine Pitch BGA (FBGA) (BGA с малым шагом выводов). Также рассматривается влияние BGA и FBGA на современную технологию и различные типы компонентов по мере перехода к процессам сборки, не использующих свинец. Основное внимание данного руководства уделяется вопросам тщательной проверки, ремонта и надежности, связанным с компонентами BGA. В данном документе под термином "BGA" подразумеваются корпуса с матричным расположением шариковых / столбиковых выводов любых типов и форм.

1.1 Назначение Целевой аудиторией для данного документа являются менеджеры, разработчики, технологи, а также операторы и сервисные инженеры, которые занимаются сборкой, проверкой и ремонтом электронных схем. Целью руководства является обеспечение полезной и практической информацией специалистов, которые работают с компонентами BGA, а также тех, кто рассматривает возможность применения технологии BGA, в частности, компаний, осуществляющих переход от стандартных процессов пайки оловянно-свинцовыми припоями к технологиям сборки компонентов BGA с использованием материалов, не содержащих свинец.

1.2 Цель Новой задачей в ходе внедрения сборочных процессов с использованием BGA и компонентов других типов является выполнение требований законодательных директив, согласно которых ряд материалов считаются опасными для окружающей среды. Требования, исключающие применение опасных веществ в электронных компонентах, заставляют производителей пересмотреть номенклатуру материалов, используемых для герметизации и нанесения покрытий на компоненты, а также состав металлических сплавов, используемых в сборочных процессах.

Данный документ, не претендуя на полноту охвата, определяет многие характеристики, оказывающие влияние на успешное осуществление процессов сборки. В нем рассматриваются многочисленные примеры сочетания методов сборки и материалов с целью выявления отклонений, оказывающих существенное влияние на качество и надежность готовой продукции. Критерии приемки / отбраковки сборочных узлов BGA, используемые в договорных соглашениях, устанавливаются стандартами J-STD-001 и IPC-A-610.

2 ДЕЙСТВУЮЩИЕ НОРМАТИВЫ

2.1 IPC[1]

J-STD-001 Требования к паяным электрическим и электронным сборкам

J-STD-020 Требования по обращению с компонентами, чувствительными к влаге

J-STD-033 Обращение, упаковка, транспортировка и использование компонентов для поверхностного монтажа, чувствительных к влаге и пайке методом оплавления

IPC-T-50 Термины и определения по монтажу и конструированию электронных сборок

IPC-D-279 Руководство по проектированию надежных модулей на печатных платах по технологии поверхностного монтажа

IPC-D-325 Требования к документации на печатные платы

IPC-D-350 Описание печатных плат в цифровой форме

IPC-D-356 Представление информации для электрического контроля подложек в цифровой форме

IPC-SM-785 Руководящие указания по ускоренным испытаниям на надежность при поверхностном монтаже

IPC-2221 Общий стандарт по конструированию печатных плат и контактных площадок

IPC-2511 Форматы данных для описания продукта в производстве и методы их передачи

IPC-2581 Форматы данных для описания печатных плат в производстве и методы их передачи

IPC-7094 Проектирование и реализация сборочных процессов для компонентов "флип-чип" и компонентов, имеющих размер кристалла

IPC-7351 Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа

IPC-7525 Руководящие указания по конструированию трафаретов

IPC-7711/7721 Ремонт и доработка печатных плат и сборочных электронных узлов

IPC-9701 Методы контроля параметров и требования надежности для паяных соединений при поверхностном монтаже

IPC/JEDEC-9704 Руководящие указания по испытанию печатных плат с помощью датчика деформации

2.2 JEDEC[2]

JEP95, раздел 4.5 Корпус BGA с малым шагом выводов (FBGA, квадратный)

1. www.ipc.org
2. www.jedec.org

JEP95, раздел 4.6 Корпус BGA с малым шагом выводов (FRBGA, прямоугольный))

JEP95, раздел 4.7 Корпус BGA, имеющий размер кристалла (DSBGA)

JEP95, раздел 4.9 Типовой матричный поддон для переноски и перевозки (низкий профиль для укладки корпусов BGA)

JEP95, раздел 4.10 Типовой матричный поддон для переноски и перевозки

JEP95, раздел 4.14 Корпус с матрицей шариковых выводов (BGA)

JEP95, раздел 4.17 Корпус с матрицей шариковых выводов (BGA), измерения и методология

JEP95, раздел 4.22 Корпус с матрицей шариковых выводов, расположенных с малым шагом (FBGA), монтаж типа "корпус на корпусе" (PoP)

JESD22-A102 Несмещенный метод испытаний в автоклаве

JESD22-A103 Метод испытаний на долговечность при высокотемпературном хранении

JESD22-A104 Метод испытаний на тепловой удар

JESD22-A118 Ускоренные испытания на устойчивость к влаге - несмещенный HAST

JESD22-B103 Метод испытаний на вибростойкость на уровне плат

JESD22-B110 Метод испытаний подузлов на механический удар

JESD22-B111 Метод ударных испытаний на уровне плат

3 КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРКИ КОМПОНЕНТОВ В КОРПУСЕ BGA

Все электронные системы состоят из различных компонентов: интерфейсные схемы, электронные запоминающие устройства, а также печатные узлы. Как правило, сложность таких систем отражается как на типах компонентов, так и на структуре их взаимосвязей. Чем выше сложность компонентов, которую можно оценить по количеству входных / выходных выводов на них, тем сложнее структура соединений.

Растущие требования к скорости и производительности приводят к увеличению количества компонентов в схемах и росту плотности их установки параллельно с уменьшением пространства монтажа. Кроме того, возросло количество функций, выполняемых одним устройством, что привело к росту числа выводов и уменьшению шага выводов. Малый шаг выводов создает определенные проблемы как для сборщиков, так и для производителей печатных плат. Сборщики сталкиваются с проблемами обращения с компонентами, копланарности и точной установки компонентов.

Корпусирование компонентов, в особенности микропроцессоров и модулей памяти, составляют остальную часть проблем сборки электронных узлов. На рисунке 3-1 приведен пример процесса корпусирования компонента. Основными критериями при корпусировании компонента являются тепловые и электрические характеристики, ограничения по полезной площади кристалла и стоимость. Наиболее распространенными в производстве являются устройства с расположением выводов по периметру с шагом 1,27 мм. Однако такие корпуса не могут иметь более 84 выводов. Устройства с периметрическим расположением большего числа выводов требуют шага 0,65, 0,5 и 0,3 мм.

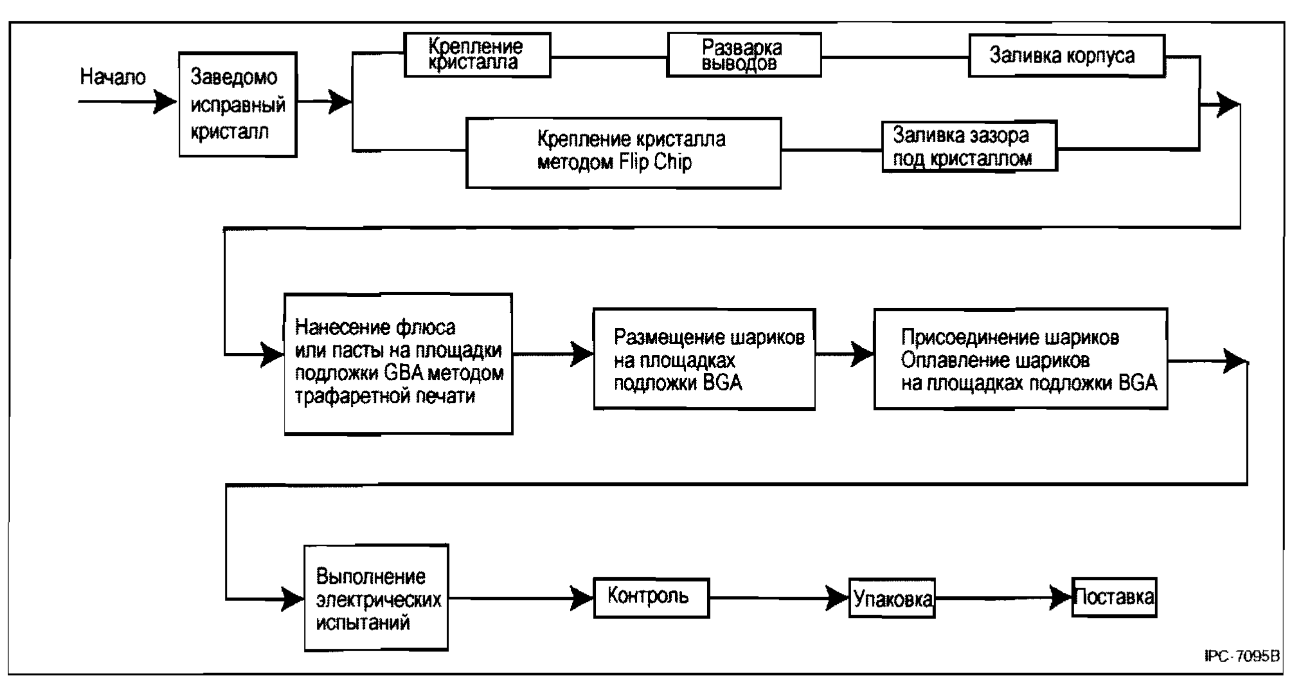


Рисунок 3-1 Процесс изготовления компонента в корпусе BGA

Хотя значения шага менее 1,27 мм позволяют уменьшить размеры корпуса, увеличение плотности выводов создает много проблем для производителей. При таких значениях шага выводы становятся хрупкими и подверженными повреждениям, таким как потеря компланарности и деформация. Для установки таких корпусов на плату необходимы автоматы установки компонентов с видеосистемой и питателями из матричных поддонов. Однако применение этих систем существенно увеличивает затраты на оборудование.

Необходимо изменить требования к конструкции печатных узлов, чтобы обеспечить дополнительное пространство между компонентами с малым шагом выводов и соседними компонентами. Поскольку корпуса с малым шагом выводов устанавливаются почти вплотную к поверхности платы (расстояние от 0 до 250 мкм), возникает проблема удаления остатков флюса после пайки (за исключением случаев применения флюсов, не требующих отмывки). Для полной отмывки от остатков флюса требуется зазор от 0,4 до 0,5 мм. При помощи временной паяльной маски, наносимой поверх переходных отверстий под корпусом, можно избежать проникновения флюса под корпус. Однако этот дополнительный шаг ведет к удорожанию производственного процесса.

Поскольку в корпусах BGA вместо выводов используются шарики припоя, исключаются проблемы, связанные с повреждением выводов и их компланарностью. Корпуса BGA с шагом от 1,27 до 1,5 мм устанавливаются на высоте не менее 250 мкм от платы, поэтому трудности, связанные с нанесением пасты, установкой, пайкой и отмывкой существенно снижаются. Корпуса BGA также обеспечивают более короткие сигнальные проводники по сравнению с устройствами с малым шагом выводов. Более короткие сигнальные проводники очень важны для высокочастотных устройств.

3.1 Описание инфраструктуры Использование корпусов BGA в производстве печатных узлов стало обычным в последние несколько лет. Несмотря на это, использование таких компонентов требует дополнительных инженерных ресурсов в процессе проектирования и внедрения технологических операций сборки. Хотя технология BGA может значительно продвинуть вперед технологию поверхностного монтажа, для применения микросхем BGA в существующих проектах необходимо решить множество технических задач.

3.1.1 Контактные площадки и факторы, учитываемые при проектировании печатных плат

Компоненты припаиваются к контактным площадкам, расположенным на поверхности печатной платы. Контактные площадки – это участки меди, примерно совпадающие по форме и размеру с выводами или поверхностями контактов. Форма контактных площадок очень важна для технологичности, поскольку от нее зависит количество дефектов пайки, возможность отмывки, тестопригодность, ремонтопригодность и надежность паяных соединений.

В прошлом допуски на размеры компонентов были достаточно большими (некоторые из них остались таковыми до сих пор), что не давало возможности эффективно конструировать контактные площадки. Кроме того, поскольку SMT-компоненты не были стандартизованы, конструкция контактных площадок также не могла быть стандартизована. В результате пользователи должны были самостоятельно определять размеры контактных площадок и искать поставщиков, чья продукция удовлетворяла данным характеристикам. Снижение количества поставщиков привело к снижению диапазона размеров и связанных с ними допусков, требуемых для разработки контактных площадок.

Необходимо понимание проблем, связанных с разработкой форм контактных площадок для корпусов BGA. Очень важно обеспечить правильное формирование паяного соединения, чтобы предотвратить такие дефекты, как короткие замыкания и непропаи, и добиться высокого уровня надежности. При проектировании контактных площадок необходимо помнить, что для внутренних рядов выводов корпуса BGA требуются дополнительные слои в печатной плате. Увеличение числа выводов (соединительных проводников) ведет к увеличению числа слоев из-за ограниченной возможности трассировки проводников. Чем выше число слоев, тем выше стоимость печатной платы.

Контактные площадки для корпусов BGA на плате могут быть ограничены паяльной маской или металлом (граница контактной площадки определяется чистой поверхностью медной фольги). У обоих методов есть свои «за» и «против», но второй метод создания площадок поверхностью медной фольги обеспечивает более высокую надежность.

Производители плат должны заниматься вопросами, связанными с размером контактной площадки, совместимостью поверхностных покрытий и разрешающей способностью паяльной маски, а также проблемами электрических испытаний. Сборщик должен заниматься параметрами процесса сборки и принимать решение относительно свойств паяльной пасты, материалов для пайки волной и температурными профилями процесса пайки компонентов и плат с разнообразными финишными покрытиями.

По прогнозам специалистов можно предположить, что среднее количество выводов электронных компонентов в настоящее время превышает 200 и будет увеличиваться в дальнейшем. Однако реально количество выводов в самых распространенных компонентах составляет от 16 до 64. Свыше 50% всех компонентов попадают в данную категорию, и только в 5% используемых компонентов число выводов превышает 208. Это количество может считаться пределом, при превышении которого целесообразно переходить от размещения выводов по периметру корпуса к матричному размещению.

В настоящее время многие устройства, традиционно выполнявшиеся с расположением небольшого количества выводов по периметру корпуса (запоминающие устройства, логические схемы и т.п.), начинают выпускаться и в форматах BGA и FBGA.

Хотя в процентном отношении количество компонентов с большим количеством выводов, используемых в электронных схемах, невелико, они играют большую роль в развитии инфраструктуры производства как печатных плат, так и электронных сборок. Такие компоненты определяют технологию проектирования, травления, тестирования и нанесения финишных покрытий на платы. Они в одинаковой степени определяют выбор используемых материалов и процесс монтажа.

Электронная промышленность эволюционировала от использования технологии монтажа с использованием сквозных отверстий, когда выводы компонента вставлялись в печатную плату и припаивались либо с обратной стороны, либо внутри металлизированного отверстия. Однако развитие технологии Surface Mounting Technology (SMT) (технология поверхностного монтажа) привело к тому, что большинство электронных компонентов изготавливаются на сегодняшний день только в исполнении для SMT.

Изготовление больших объемов изделий с использованием технологии SMT требует автоматизации. Для изготовления небольших объемов достаточно систем установки с ручным

управлением или одного автомата установки. Для изготовления больших партий изделий по технологии SMT требуются специальные системы нанесения паяльной пасты, многочисленные и разнообразные автоматы установки компонентов, конвейерные печи оплавления и системы отмывки.

Центральной системой в технологии поверхностного монтажа является машина, которая устанавливает компоненты на печатную плату перед пайкой. В отличие от систем установки в сквозные отверстия (TH), машины для установки поверхностно-монтируемых компонентов обычно могут работать с компонентами различных типов. С увеличением плотности монтажа появляются новые типы корпусов компонентов SMT. Примерами являются корпуса Fine Pitch Technology (FPT) (технология малого шага выводов), Ultra Fine Pitch Technology (UFPT) (технология сверхмалого шага выводов) и Array Surface Mount (ASM) (матричный поверхностный монтаж). Последняя технология объединяет множество семейств матриц с шариковыми или штырьковыми выводами, имеющие корпус с размерами кристалла (chip scale packages, CSP), корпуса со сверхмалым шагом выводов (FBGA) и устройства с кристаллом в перевернутом виде (flip chip, FC). Все эти компоненты можно устанавливать с помощью автоматического оборудования при условии, что оно удовлетворяет требованиям точности.

Повышающаяся сложность устройств является главной причиной развития технологии SMT. Чтобы уменьшить размер корпуса компонента, необходимо уменьшить расстояние между выводами (например, с 1,27 мм до 0,65 мм). Дальнейшее увеличение степени интеграции и числа выводов микросхем (более 196 выводов) может привести к уменьшению расстояния между выводами до 0,5 мм, 0,4 мм, 0,3 мм и даже 0,25 мм. Матричное расположение выводов стало наиболее распространенным для устройств с большим числом выводов. Ранее корпуса SMT с матричным расположением выводов обладали большим шагом по сравнению с корпусами с расположением выводов по периметру. Однако в настоящее время формат выводов изменяется в направлении уменьшения шага между ними.

Стандарт на корпуса с матричным расположением шариковых и штырьковых выводов с шагом 1,5, 1,27 и 1,0 мм был создан в 1992 году. Стандартная технология Fine Pitch BGA поддерживает шаг выводов 1,0, 0,8, 0,75, 0,65 и 0,5 мм. Существует несколько реализаций корпусов FBGA с уменьшенным шагом 0,4 мм, а в будущем предполагается дальнейшее снижение шага до 0,3 и 0,25 мм.

Несмотря на то, что конфигурации корпусов BGA и соответствующих контактных площадок описаны в стандарте IPC-7351, некоторые производители компонентов изменили стандартные конфигурации для повышения плотности межсоединений на подложке компонента. Из-за подобной "доводки" стандартной геометрии возрастает роль проверки технических условий производителя с целью определения точных значений шага, размера шарика и прореживания выводов (наличия удаленных шариков).

Возникает вопрос определения размеров шариковых выводов. Одни специалисты считают, что необходимо применить правило 60%, т.е. диаметр шарикового вывода должен быть равен 60% шага. Это означает, что диаметр шарика должен быть равен 0,5 мм при шаге 0,8 мм. Для FBGA используется диаметр шарика, равный 0,4 мм при шаге 0,65 мм. Другие считают, что для корпусов FBGA следует стандартизовать диаметр шарика 0,3 мм. Стандартизация единственного размера шарика позволит решить множество задач, главными из которых являются определение параметров разводки проводников и стандартизация конструкции контактной площадки.

Для корпусов с матричным расположением выводов характерна последовательная топология. Пример этого приведен справа на рисунке 3-2, где в соответствии с требованиями конструкции пропущены выводы одного шага. Конструкция, показанная на рисунке 3-2 слева, потребует большого количества различных тестовых адаптеров. Контакт со входами и выходами компонента затруднен из-за различного шага выводов и диаметра шариков. Стандартный диаметр шарика, определенный комитетом US JEDEC JC11 Committee, смягчает требования, предъявляемые к разработке печатной платы.

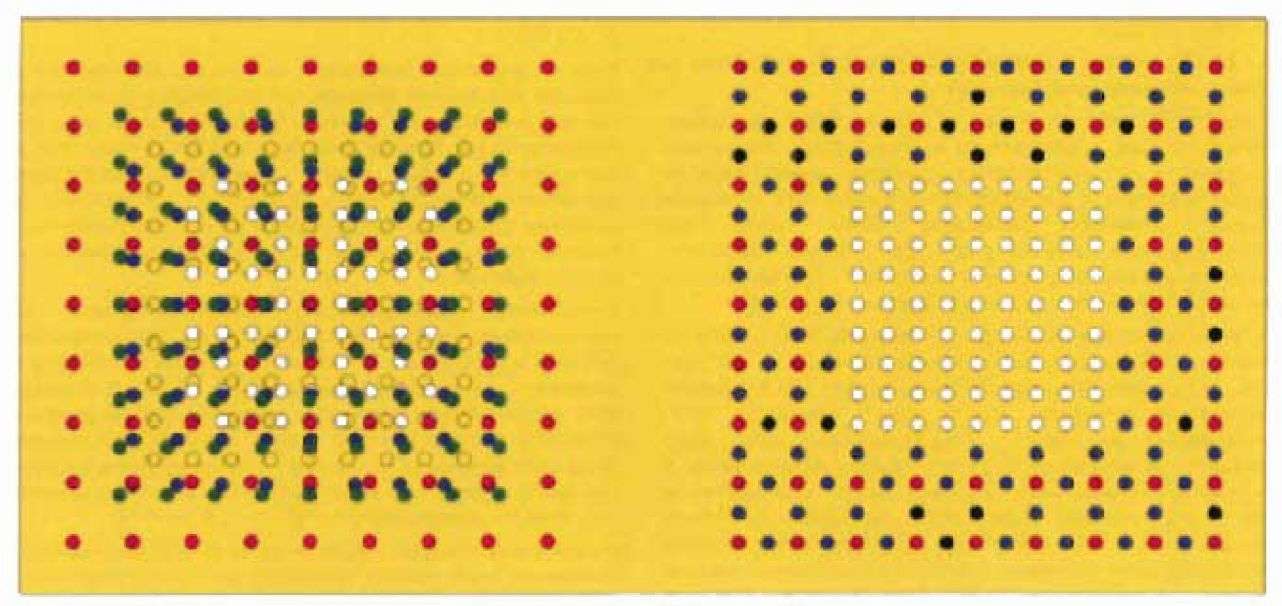


Рисунок 3-2 Сравнение способов размещения матричных выводов

В процессе выбора компонентов для электронной схемы необходимо стремиться применять как можно больше микросхем с одинаковым типом корпуса и одинаковым шагом выводов. Применение компонентов с большим количеством выводов и проблемы при размещении микросхем с большим числом выводов, расположенных по периметру, привели к пересмотру соотношения между конструкцией корпусов и сложностью установки, параметрами проводников и поверхности печатных плат. Интерес к использованию очень сложных компонентов связан с особенностями проектирования печатных плат и схем. При установке компонентов необходимо позаботиться о том, чтобы все выводы были припаяны на плату без образования перемычек (коротких замыканий) и без пропущенных паек (обрывов). Во время проектирования необходимо обеспечить соединения между всеми выводами и достаточно свободного места для проводников.

Корпуса с матричным расположением выводов позволяют использовать различную компоновку шариков, например, в шахматном порядке или с частичным заполнением. Применение стандартного шага выводов позволяет значительно приблизиться к созданию согласованных производственных стандартов для всех компонентов, тестовых адаптеров, плат и тестовых систем (см. рисунок 3-3).

3.1.2 Сравнение технологий Приемы, применяемые при монтаже одиночного кристалла на органическую подложку, можно также использовать и для соединения нескольких кристаллов.

Эта технология называется «многокристальный слоистый модуль» (MCM-L - multichip module-laminate) или «многокристальная сборка» (MCP – multichip package); также сложным модульным сборкам присвоено новое наименование, известное как multi device subassembly (MDS) – многоблочный подузел. При всем разнообразии разработанных конструкций их объединяет общий признак – матричное расположение выводов. Таким образом, размер шариковых выводов и шаг будут и в дальнейшем являться основными факторами, определяющими производство одно- и многокристальных полупроводниковых устройств. В таблице 3-1 приведено несколько примеров определения корпусов модулей Multichip, включающих более одного кристалла. На рисунке 3-4 изображен пример подобного устройства, в котором применяется соединение контактных площадок к матрице выводов.

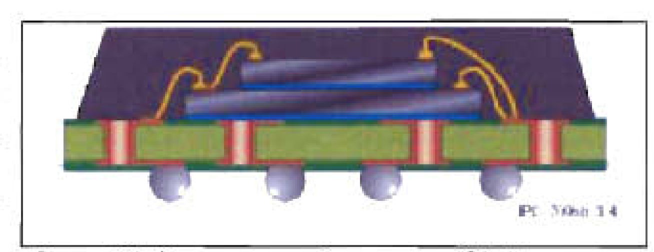


Рисунок 3-4 Многокристальный модуль типа 2S-L-WB

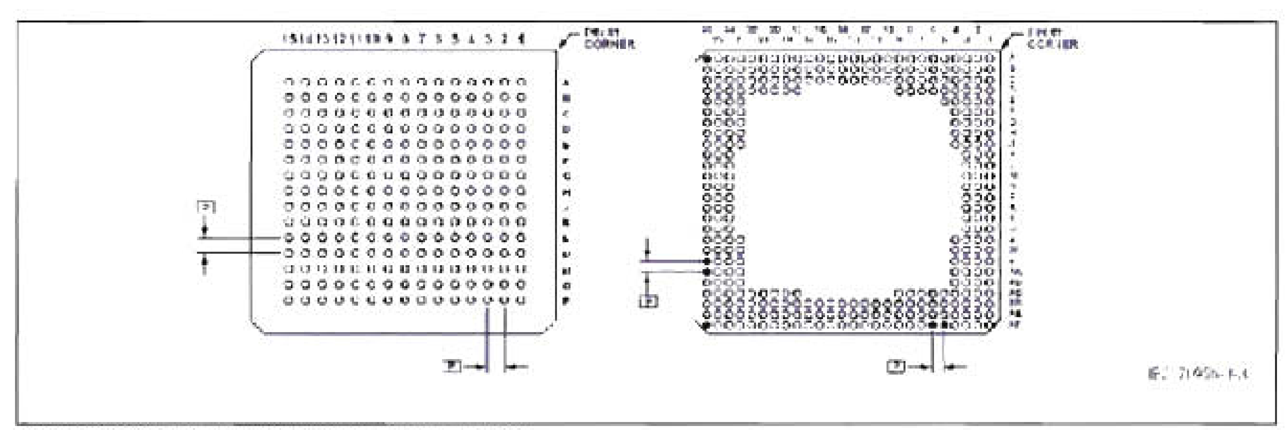


Рисунок 3-3 Варианты расположения матриц выводов

Таблица 3-1 Определения многокристальных модулей

MCM	Описание технологии	Признаки
Тип 1	Корпус по обычной технологии	Несколько кристаллов одного типа в одной плоскости
Тип 1S	Корпус по обычной технологии	Несколько кристаллов одного типа один над другим
Тип 1F	Корпус по обычной технологии	Несколько кристаллов одного типа в складке
Тип 2	Корпус по смешанной технологии	Несколько кристаллов разного типа в одной плоскости
Тип 2S	Корпус по смешанной технологии	Несколько кристаллов разного типа, один над другим
Тип 2F	Корпус по смешанной технологии	Несколько кристаллов разного типа в укладке
Тип 3	Система в корпусе	Разные интегральные схемы и дискретные элементы в одной плоскости
Тип 3S	Система в корпусе	Разные интегральные схемы и дискретные элементы, один над другим
Тип 4	Корпус оптоэлектронной системы	Комбинированная технология для оптоэлектроники

В число других возможных определяющих параметров входят технология подложки (например, -C для керамики, -L для ламинатов, -D для напыления, -W для полупроводниковых пластин, -S для кремния) и технология соединений (например, -WB для разварки проволочных выводов, -FC для установки flip chip, -MX для комбинированных технологий).

Обычно в микропроцессорах для питания и заземления выделяется от 40 до 60% выводов. Например, если в корпусе 1300-1400 выводов, то от 600 до 700 выводов будут сигнальными. В специализированных ИС распределение выводов может отличаться.

Разводка проводников к сигнальным выводам и соединение их с другими ИС с большим количеством выводов также потребует печатных плат с высокой плотностью монтажа (HDB – high density board). Так как количество выводов кристалла продолжает расти, размер отдельного корпуса кристалла может стать неприемлемо большим и потребовать повторного проектирования конструкции устройства с учетом возможности применения многокристальных модулей и создания специализированных корпусов (ASMP) в качестве альтернативы. Количество сигнальных выводов ИС высокой степени интеграции в корпусе BGA примерно в 2,5 раза выше, чем обычно требуется для корпусов BGA, используемых в портативных приборах. Плотность разводки проводников линейно пропорциональна количеству сигнальных выводов корпуса и обратно пропорциональна межосевому расстоянию между соседними корпусами. Увеличение количества сигнальных выводов в 2,5 раза с 500 до 1300 на корпус с тем же расстоянием между корпусами требует увеличения плотности монтажа на ПП в 2,5 раза и пропорционального увеличения плотности межслойных проводников или металлизированных сквозных отверстий (PTH). Это может потребовать уменьшения размера шага между отверстиями / межслойными проводниками и увеличения числа сигнальных слоев ПП.

Чем сложнее электронная схема и чем больше размер корпуса, тем больше изменяется конструкция печатной платы. Возрастающее количество контактов потребует применения многослойных схем или проектирования схем с высокой плотностью соединений (микропрокладка), чтобы обеспечить прокладку проводников от внутренних контактных площадок к другим элементам печатной платы. В соответствие с конструкцией может потребоваться устанавливать компоненты на обе стороны печатной платы. Это повлечет за собой повышенные требования к печатной плате с точки зрения рассеиваемой мощности.

Использование компонентов с большим количеством выводов, таких как BGA и FBGA создает проблему разводки сигнальных проводников и проводников питания и заземления к другим компонентам печатной платы (ПП) без увеличения сложности и стоимости ПП. Продуманное назначение выводов и правильный выбор параметров корпуса (шаг, размер шарика, количество контактов и несоединенные выводы) может значительно упростить разводку проводников на плате.

Двух слоев с соединительными проводниками может быть достаточно для разводки проводников ко всем выводам даже при большом их количестве в корпусе BGA, при условии, что соответствующим образом продумано функциональное назначение выводов и выполнена сама разводка. В таблице 3-2 приведено максимальное количество межслойных переходов, возможное в двухслойной схеме при определенных размерах корпуса и количестве проводников между контактными площадками / перемычками.

Следует отметить, что при увеличении количества выводов уменьшается возможность разводки проводников ко всем выводам и, как следствие, может потребоваться увеличение количества слоев. На первый взгляд на основе данных таблицы 1-1 может показаться, что двух слоев недостаточно для разводки проводников к выводам матрицы размером более 16 x 16 (256 шариковых выводов). В действительности, значительное число шариковых выводов используется для подачи питания и заземления и поэтому не потребует подвода отдельных проводников. Они могут быть соединены с требуемой плоскостью с помощью переходных отверстий, соединенных с соответствующими контактными площадками в виде «собачьих косточек». Однако непродуманное расположение сигнальных и питающих / заземляющих выводов может привести к нерациональному использованию пространства трассировки и значительному снижению количества проводников в данном количестве слоев.

Таблица 3-2 Количество переходов в двухслойной схеме в зависимости от размера матрицы

Размер матрицы	Общее количество выводов	Кол-во проводников между переходами (•|•)		
		1 •|•	2 •||•	3 •|||•
14X 14	196	192	196	196
16X 16	256	236	256	256
19X 19	361	272	316	352
21 X 21	441	304	356	400
25X 25	625	368	436	496
31 X 31	961	464	556	640
35 X 35	1225	528	638	736

Назначение сигнальных контактов на внешние ряды выводов и использование внутренних выводов для питания и заземления облегчает задачу разводки проводников. Однако, поскольку угловые выводы больших корпусов BGA более подвержены механическим повреждениям, рекомендуется использовать их в качестве резервных контактов заземления. Максимальное количество рядов сигнальных выводов зависит от числа слоев печатной платы и числа проводников, которые можно развести между контактными площадками и перемычками.

На рисунке 3-5 приведены примеры зависимости количества проводников, которые можно развести между контактными площадками, от шага выводов и диаметра площадок. По мере уменьшения шага уменьшается количество проводников и расстояние между ними, из-за чего производство платы становится сложнее и дороже. Использование проводников и интервалов между ними шириной порядка 150 мкм является чрезвычайно рентабельным, но при уменьшении ширины проводников (и интервалов) до 100 мкм стоимость печатной платы значительно увеличивается.

При использовании подложки из органических материалов для монтажа неизолированных кристаллов в пластиковом корпусе BGA требуется, чтобы контактные площадки на поверхности подложки совпадали с контактными площадками на кристалле.

Кристалл обычно располагается так, что для соединения его контактных площадок с выводами корпуса используется разварка проволочных соединений, поскольку это наиболее распространенная технология. Нижняя поверхность кристалла присоединяется к подложке при помощи теплопроводящего клея.

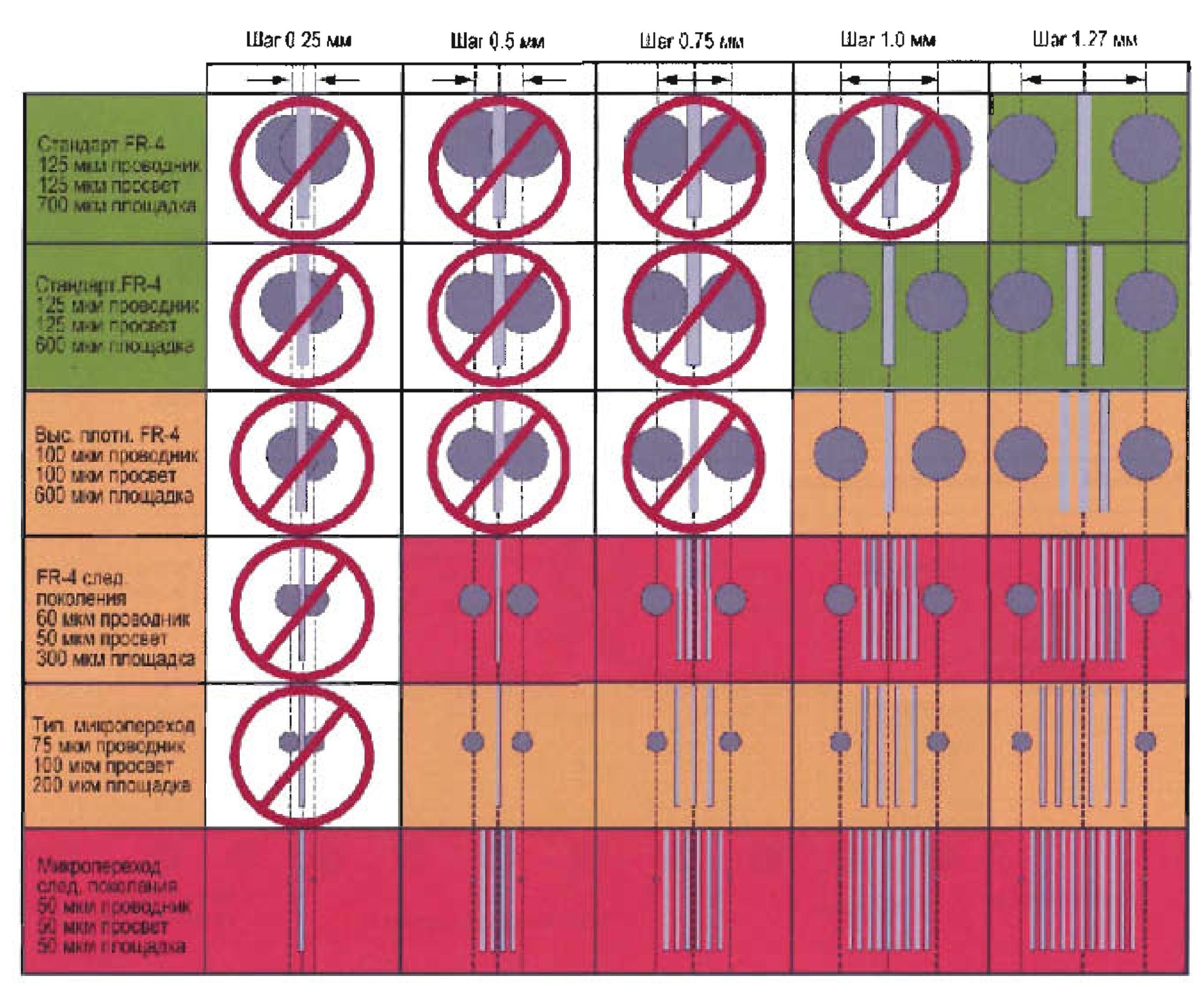


Рисунок 3-5 Зависимость ширины проводника от размера шага

В зависимости от количества выводов и шага между ними для соединения контактных площадок, расположенных по периметру кристалла, со столбиковыми или шариковыми выводами корпуса можно использовать многослойные подложки (см. рисунок 3-6).

Для соединения контактных площадок кристалла с матрицей выводов корпуса можно использовать технологию монтажа flip-chip (монтаж кристалла в перевернутом виде). В этом случае кристалл устанавливается в перевернутом положении (относительно установки при соединении контактных площадок с выводами с помощью разварки), а его контактные площадки напрямую соединяются с подложкой, внутри которой находятся перемычки, обеспечивающие электрический контакт с выводами BGA. Такая технология предъявляет производителям интегральных схем высокой степени интеграции на органических подложках повышенные требования к качеству разводки проводников. Кроме того, для поддержания постоянного соотношения между коэффициентом теплового расширения кристалла и коэффициентом теплового расширения многослойной органической подложки требуется заполнение компаундом (см. рисунок 3-7).

3.1.3 Влияние на сборочное оборудование Применение технологии BGA предъявляет новые требования к оборудованию для установки компонентов.

В зависимости от типа автомата установки может потребоваться изменение механизма подачи компонентов из матричного поддона в положение захвата. Также может быть полезным применение реперных знаков для определения видеосистемой точного положения контактных площадок корпусов BGA, аналогично тому, как это делается в случае компонентов с расположением выводов по периметру. Для подачи компонентов BGA большого размера с блистерной ленты необходимо применять питатели шириной 44 и 56 мм, в зависимости от размера корпуса. Для пайки следует использовать конвекционную печь с принудительной подачей воздуха. Процессы ремонта и проверки качества пайки корпусов BGA являются довольно сложными. Применение ремонтных станций с нанесением пасты, предварительным нагревом и видеосистемой хотя и не является необходимым, но очень полезно. В процессе производства эффективным является контроль при помощи рентгеновских и оптических систем (эндоскопия).

3.1.4 Требования к трафарету При использовании компонентов BGA с малым шагом выводов может потребоваться уменьшение толщины трафарета. Толщина трафарета и размер контактной площадки определяют очень важный параметр для керамических корпусов BGA – объем пасты. Для лучшего нанесения пасты рекомендуется применять трафареты с отверстиями трапециедального

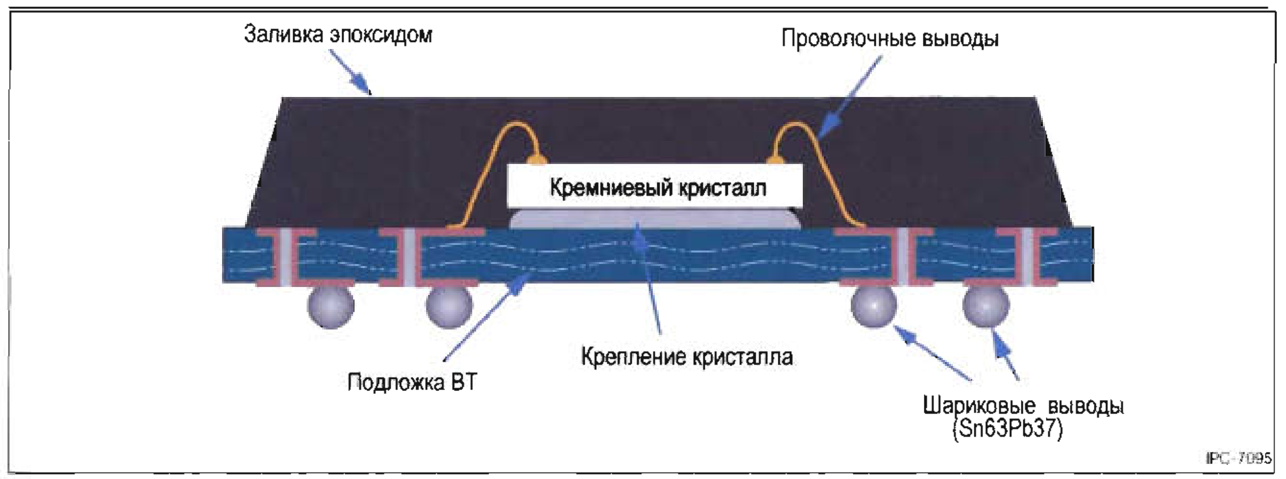


Рисунок 3-6 Пластиковый корпус BGA, кристалл с разваркой проволочных соединений

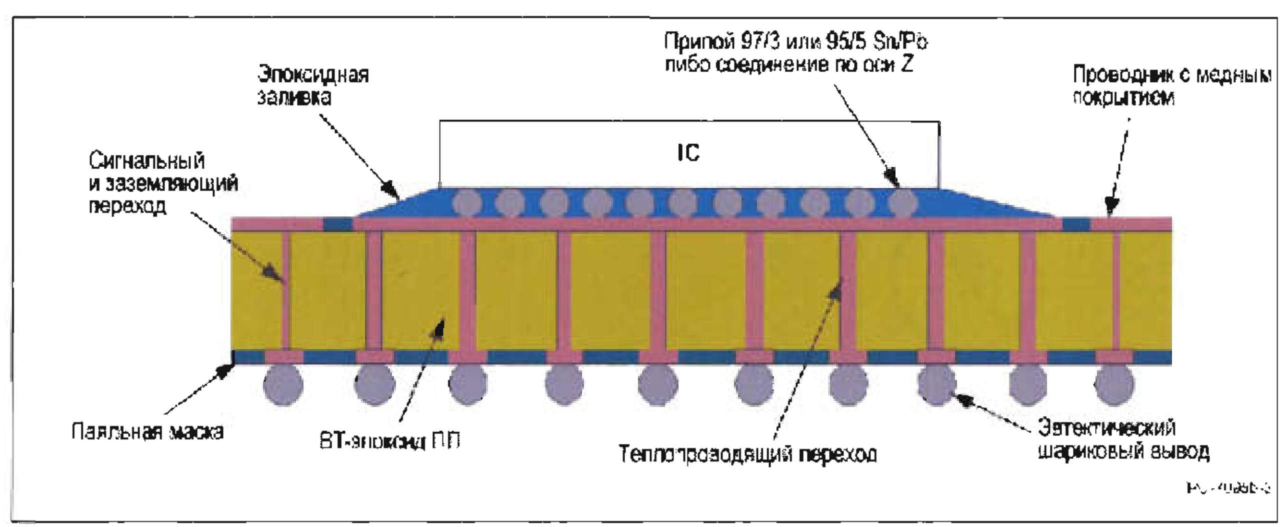


Рисунок 3-7 Соединения BGA по технологии flip chip

сечения (размер отверстий снизу немного больше, чем сверху). Обычно отверстия трафарета для компонентов BGA большого размера с шагом 1,25 и 1,00 мм достаточно большие, поэтому проблемы, связанные с их загрязнением и нарушением формы отпечатков, возникают гораздо реже, чем в трафаретах для компонентов QFP.

Для приведения отверстий в трафарете в соответствие с требованиями для корпусов BGA с малым шагом необходимо понимание соотношения между апертурой трафарета и размером частиц в паяльной пасте. В стандарте IPC-7525 приводится полезное описание методики выбора нужного соотношения, поскольку контактные площадки для пайки уменьшаются в размере и располагаются ближе друг к другу.

3.1.5 Требования к процедуре контроля Как и любой компонент для поверхностного монтажа, BGA не следует передвигать после установки на плату, так как это может привести к смазыванию пасты и возникновению перемычек между контактами. Для индикации большого смещения можно использовать нанесенный на плату с помощью шелкографии контур компонента, однако следует иметь в виду, что во время пайки компонент автоматически совместится с контактными площадками, если величина смещения не превышает 50% от размера контактной площадки. Если компонент BGA сдвинут на большее расстояние, его следует снять перед пайкой и установить позже. Хотя это и не всегда осуществимо в условиях серийного производства, с целью выявления дефектов желательно перед удалением компонентов проводить рентгеноскопию или оптическую проверку (эндоскопию).

3.1.6 Тестирование Перед началом использования компонентов в корпусах BGA необходимо разработать стратегию тестирования. Паяные соединения невозможно проконтролировать, поэтому потребуется применение тестовых точек. Включение в топологию платы достаточного количества тестовых точек для полной проверки всех паяных соединений может оказаться слишком сложной задачей, поэтому следует рассмотреть и альтернативные методы. Для улучшения контролепригодности некоторые компоненты BGA поддерживают технологию периферийного сканирования. Иногда тестовые точки выполняют прямо на корпусе компонента BGA. Это не совсем правильно, поскольку в этом случае при тестировании на корпуса и паяные соединения оказывается давление.

3.2 Время выхода на рынок В некоторых случаях разработчики могут выбирать, использовать технологию BGA или нет. В качестве альтернативы можно применять корпуса QFP с большим числом выводов (плоский корпус с выводами с четырех сторон). Однако если технология BGA используется впервые, то производителю, поставщикам печатных плат и сборочным производствам может понадобиться некоторое время для

решения технических и экономических проблем, связанных с внедрением технологии BGA в производство. Можно ожидать, что время выхода изделия на рынок будет значительно увеличено, если изделие и технология будут разрабатываться одновременно. Перед производством реальных изделий рекомендуется вначале разработать и внедрить технологию. В противном случае, если в процессе разработки изделия или технологии возникнет какая-либо проблема, срок поставки будет пропущен. Чтобы гарантировать поставку в указанное время, необходимо проанализировать процессы проектирования и производства систем с компонентами BGA.

3.3 Методология Перед разработчиком встает сложная задача. Для выбора конкретной технологии он должен учесть форму, компоновку, функциональное назначение, цену, надежность и срок поставки. В общем случае, на конструкцию изделия влияют стоимость, размер и /или эксплуатационные качества. Но, в дополнение к проблемам проектирования и сборки, обсуждаемых выше, изделие обеспечивать требуемую надежность в заданных условиях (включая температуру, вибрацию и воздействие влаги). Уровень надежности должен способствовать сохранению функциональности изделия в рабочей среде в течение прогнозируемого срока службы оборудования. Поэтому выбор типа корпуса может определяться требованиями надежности и условиями эксплуатации.

3.4 Анализ производственного процесса Существует несколько способов эффективного использования технологии BGA. Сложность каждого способа зависит от того, какими средствами разработки и сборки обладает предприятие, как быстро они могут быть подготовлены к процессу производства. Далее приведен пример одного из методов.

1. Выберите список возможных компонентов для использования технологии BGA.

2. Составьте список оборудования на основе запланированного объема производства. Если собственных экспертных ресурсов недостаточно, можно воспользоваться услугами солидного центра обучения или консультанта, чтобы сэкономить время и средства.

3. Создайте рабочую группу, ответственную за проектирование, производство, контроль, качество и приобретение оборудования. Эта группа должна заниматься выбором и анализом компонентов и оборудования.

4. Разработайте исчерпывающее руководство по проектированию с использованием BGA, в котором главный акцент должен быть сделан на технологичность. По возможности используйте существующие стандарты.

5. Проектирование будущей продукции начинайте с модернизации существующих схем, в которых используются компоненты с малым шагом выводов.

6. Определите потребность в материалах, не содержащих свинца, включая используемые в компонентах сплавы, а также необходимое качество поверхности монтажной подложки.

7. Выполните скрупулезный анализ схемы и методов контроля. Тщательно контролируйте приобретение компонентов, удостоверяясь, что они поставляются в указанных корпусах и указанным способом поставки; компоненты должны иметь необходимые металлизацию, паяемость и ориентацию в транспортном контейнере.

8. Разработайте подробные и статистически достоверные стандарты производства и контроля процесса.

9. Выполните проектирование остальной продукции.

Уделяя основное внимание использованию деталей, которые удовлетворяют как требованиям заказчика, так и новым мировым стандартам, многие заказчики требуют, чтобы поставщики компонентов и компании-сборщики указывали, какие именно материалы входят в состав компонентов или были преднамеренно добавлены для обеспечения надежности сборочного узла. Необходимость создания системы официальных заявлений возникла, когда автомобильная промышленность была озадачена Европейскими директивами относительно "окончания срока службы".

Для демонстрации разнообразия свойств материалов, используемых в изделиях, в таблице 3-3 приведен перечень материалов, которые могут применяться при нанесении покрытий или устанавливаться в сборке в качестве межсоединений второго уровня.

3.5 Ограничения и проблемы технологии BGA

Несмотря на то, что технология BGA стала массовой, до сих пор остаются некоторые проблемы. Это организационные и технические вопросы, которые необходимо решить. Зоны особого интереса:

- Визуальный контроль;
- Чувствительность к влажности;
- Ремонт;
- Стоимость;
- Доступность;
- Пустоты в шариковых выводах BGA;
- Стандарты и их применение;
- Вопросы надежности.

Проблемы технологии BGA не являются непреодолимыми, однако потребуют выделения инженерных ресурсов для разработки и реализации технологии..

3.5.1 Визуальный контроль Технология BGA не предназначена для тех производств, качество в которых обеспечивается путем контроля и ремонта.

Места пайки корпуса BGA невозможно проверить без рентгеновского аппарата или специальных технологий оптического контроля. Чтобы воспользоваться всеми преимуществами технологии BGA, необходимо обеспечить надежное управление производственным процессом. Ввиду ограниченности по времени и квалификации многие компании считают задачу реализации такой системы управления слишком сложной.

Существует несколько технологий визуального контроля, которые обеспечивают отображение сферических шариков керамических корпусов BGA и сплющенных шариков пластиковых корпусов BGA. Визуальная проверка монтажа корпусов BGA помогает идентифицировать брак в паяных соединениях. Для обнаружения некоторых видов брака применяется визуальная проверка внешних рядов выводов. Примеры: проверка совмещения выводов корпусов BGA с контактными площадками внешних рядов или правильности установки корпуса BGA на плате (ровно или со смещением).

3.5.2 Чувствительность к влаге Пластиковые корпуса BGA очень чувствительны к влажности. Это делает их

Таблица 3-3 Свойства возможных материалов покрытий или контактов в компонентах

Алюминий (Al) - анодированный	Платина/палладий/серебро (Pt/Pd/Ag)
Блестящее олово (Sn)	Полуматовое олово (Sn)
Блестящее олово (Sn) - отожженное	Серебро (Ag)
Блестящее олово (Sn) - распыленное	Серебро (Ag) - электроосажденное
Блестящее олово (Sn) - оплавленное	Серебро (Ag) - иммерсионное
Блестящее олово (Sn) - оплавленное поверх слоя никеля (Ni)	Серебро (Ag) - с защитным слоем никеля (Ni)
Блестящее олово (Sn) - с защитным слоем никеля (Ni)	Серебро/палладий (Ag/Pd)
Блестящее олово (Sn) - с защитным слоем серебра (Ag)	Серебро/палладий (Ag/Pd) - защитный слой Ni
Хром (Cr)	Олово (Sn)
Хром (Cr) - шестивалентный	Олово (Sn) - нанесенное погружением в расплав
Хром (Cr) - трехвалентный	Олово (Sn) - иммерсионное
Золото (Au)	Олово (Sn) - оплавленное
Золото (Au) - электроосажденное	Олово/висмут (SnBi)
Золото (Au) - твердое	Олово/висмут (SnBi) - <5% Bi
Индий (In)	Олово/висмут/золото (Sn/Bi/Au)
Матовое олово/Медь (Sn/Cu)	Олово/медь (Sn/Cu)
Матовое олово (Sn)	Олово/медь (Sn/Cu) - отожженное
Матовое олово (Sn) - отожженное	Олово/медь (Sn/Cu) - HASL
Матовое олово (Sn) - распыленное	Олово/медь (Sn/Cu) - нанесенное погружением в расплав
Матовое олово (Sn) - оплавленное	Олово/свинец (Sn10Pb90)
Матовое олово (Sn) - оплавленное поверх слоя никеля (Ni)	Олово/свинец (Sn63Pb37)
Матовое олово (Sn) - с защитным слоем никеля (Ni)	Олово/свинец/серебро (Sn/Pb/Ag)
Матовое олово (Sn) - с защитным слоем серебра (Ag)	Олово/серебро (Sn/Ag)
Никель (Ni)	Олово/серебро (Sn/Ag) - нанесенное погружением в расплав
Никель/золото (Ni/Au)	Олово/серебро (Sn/Ag) - гальваническое
Никель/золото (Ni/Au) - электролитическое покрытие	Олово/серебро/висмут (Sn/Ag/Bi)
Никель/золото (Ni/Au) - ENIG	Олово/серебро/висмут/медь (Sn/Ag/Bi/Cu)
Никель/палладий (Ni/Pd)	Олово/серебро/медь (Sn/Ag/Cu)
Никель/палладий/золото (Ni/Pd/Au)	Олово/серебро/медь (Sn/Ag/Cu) - погружение в расплав
Никель/палладий/золото (Ni/Pd/Au) - ENEPIG	Олово/цинк (Sn/Zn)
Органическое защитное покрытие (OSP)	Олово/цинк/алюминий (Sn/Zn/Al)
Органическое защитное покрытие (OSP-HT)	Олово/цинк/никель (Sn/Zn/Ni)
Палладий (Pd)	Цинк (Zn)

подверженными деформации, вздутию, вспучиванию (эффект попкорна) или образованию трещин, если они не были перед установкой на плату высушены и не выдерживались в сухом помещении. Соблюдать процедуры хранения и обращения очень важно для любых чувствительных к влажности компонентов, включая выводные SMD-компоненты, но для компонентов BGA/ FBGA это требование является наиболее критичным.

Чувствительность компонентов к влажности проверяется по стандарту J-STD-020. Уровень чувствительности к влажности необходимо определить для каждого типа корпуса BGA. Важно знать, на какую из температур рассчитан компонент BGA: 220, 235 или 250°C. Класс корпуса может опуститься на несколько уровней, если используется повышенная температура.

Благодаря, применению специальных материалов для корпусов BGA корпуса на основе ламинатов допускается нагревать до температур выше 220°C. Герметичные керамические корпуса BGA не чувствительны к влажности, поэтому их можно устанавливать при более высокой температуре. По причине перехода на бессвинцовую технологию возникает необходимость тестирования корпусов при более высоких температурах, например, 260°C, при которых наблюдается максимальное количество проблем не только с BGA, но и другими поверхностно-монтируемыми компонентами.

3.5.3 Термически несбалансированная конструкция BGA Пластиковый корпус BGA подвержен деформации, результатом которой является приподнимание краев корпуса, что может привести к нарушению контакта внешних рядов выводов. Края могут также отгибаться вниз, поэтому для характеристики этих состояний корпуса BGA используются термины "хмурый" или "улыбчивый". Деформация корпуса является очень серьезной проблемой при ремонте с использованием только флюсов. В кристаллах больших размеров может возникать разница коэффициентов теплового расширения между ПП и пластиком корпуса, которая может привести к деформации (см. рисунок 3-8).

Термически несбалансированные корпуса, особенно с радиаторами наверху, будут деформироваться в соответствие с классическим биметаллическим эффектом.

3.5.4 Ремонт Хотя системы с компонентами BGA, в отличие от устройств с малым шагом выводов, обычно не требуют серьезного ремонта, многие производители отрицательно относятся к применению компонентов, которые с трудом поддаются ремонту. Ремонт систем с компонентами BGA сложен, но не невозможен. Выпускается специальное оборудование для ремонта, ручные и автоматические системы для восстановления шариковых выводов (реболлинг) или восстановления контактных площадок.

При выполнении ремонта необходимо учитывать несколько факторов. Среди них:

- Количество циклов нагревания.
- Сжатие шариков во время реболлинга.
- Отсутствие повреждений площадок на подложке BGA.
- Тщательное восстановление и устранение повреждений площадок на плате изделия.
- Применение для повторного монтажа температуры оплавления, соответствующей используемому сплаву.

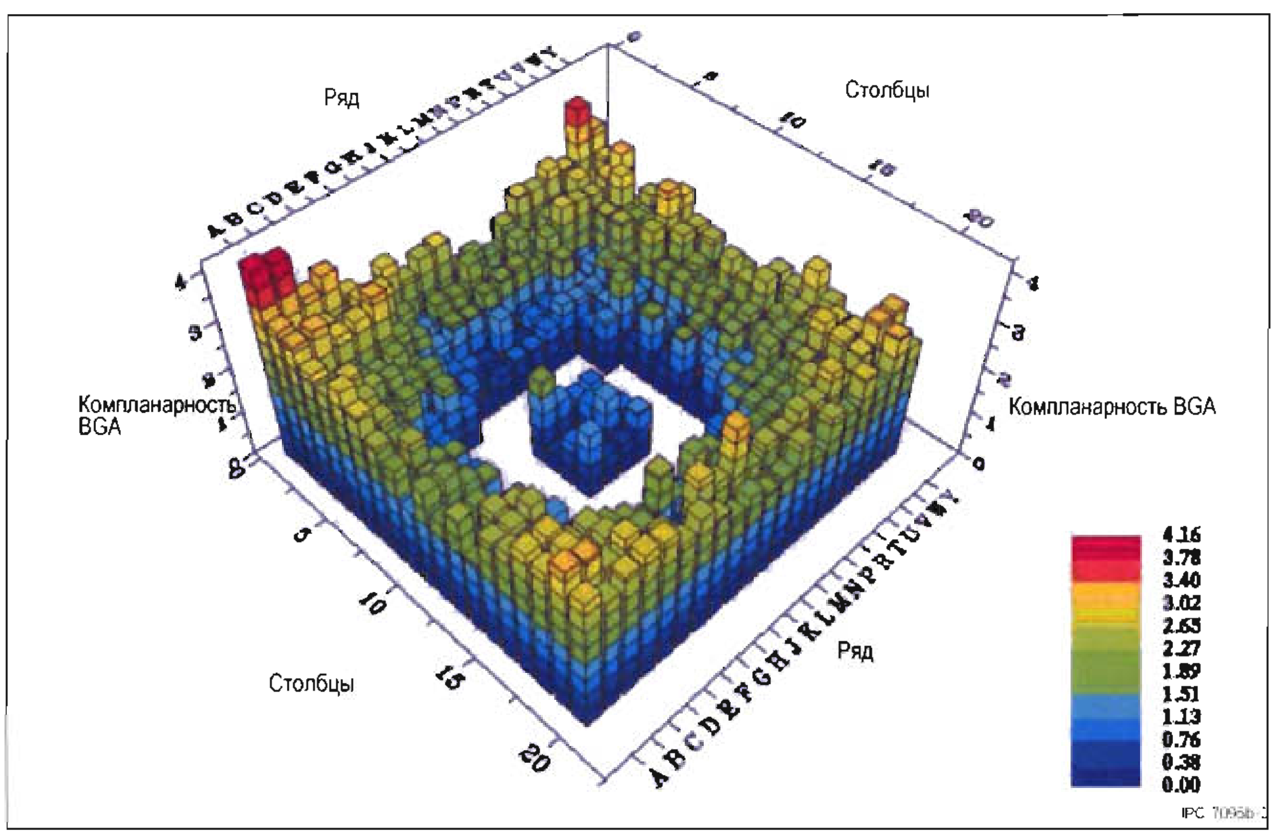


Рисунок 3-8 Деформация корпуса BGA

- Тщательная отмывка для удаления остатков флюса, если не используется несмываемый флюс.

3.5.5 Стоимость Стоимость приборов BGA пока немного превышает стоимость аналогичных по функциональному назначению приборов с периметрическим расположением выводов с малым шагом. Однако конкуренция заставляет снижать цены, чтобы завоевывать новые рынки. Еще большее увеличение стоимости связано с необходимостью увеличения числа слоев ПП, требуемых для корпусов BGA, однако оно компенсируется множеством преимуществ, связанных с улучшением производственных и топологических характеристик, вызванных внедрением технологии BGA.

Далее перечислены основные причины повышенной стоимости компонентов BGA:

- Выше стоимость подложки (более тонкие проводники / меньше пространства).
- Высокое значение температуры стеклования Tg BT-смол (бисмалеимид-триазин).
- Улучшенные температурные характеристики.
- Улучшенные электрические характеристики.
- Сверхмалые значения шага внешних выводов.
- Необходимость высокой температуры пайки.
- Малая высота корпуса.

Всем этим факторам уделялось много внимания последние несколько лет, в результате чего удалось достичь существенного прогресса.

Обычно сложно создать стандартные корпуса BGA с одинаковым количеством выводов, т.к. к каждому кристаллу предъявляются различные требования. Каждое сочетание корпуса / кристалла является уникальным, поэтому масштабная экономия, которой производители могут достичь с применением компонентов с периметрическим расположением выводов, не обязательно относится к корпусам BGA.

В таблице 3-4 приведена прогнозируемая стоимость полупроводниковых устройств в расчете на один вывод для различных технологий через несколько лет.

Таблица 3-4 Прогнозируемая стоимость полупроводниковых приборов

Год выпуска	2008	2009	2010	2011	2012	2015	2018	2020
Минимальная стоимость на один вывод для контрактных сборок [1, 2] (центы/вывод)								
Недорогие, портативные и память	0.24 - 0.47	0.23 - 0.46	0.22 - 0.45	0.21 - 0.43	0.20 - 0.42	0.19 - 0.38	0.18 - 0.35	0.17 - 0.34
Оптим. затраты / эффективность	0.63 - 1 .0	0.62 - 0.96	0.61 - 0 94	0.60 - 0.92	0.58 - 0 90	0.55 - 0.85	0.52 - 0.80	0.50 - 0.79
Высокопроизводительные	1.68	1.64	1.61	1.58	1.55	1.45	1.37	1.32
Для жестких условий эксплуатации	0.23 - 2.00	0.22-1.90	0.22 - 1.54	0.21 - 1.46	0.20 - 1.38	0.19 - 1.17	0.18 - 1.0	0.17 - 0.89

Белый – решения существуют Желтый – решения в стадии разработки Красный – нет известных решений

Цветом выделены проблемные области и степень сложности достижения указанных результатов. Данные для таблицы 3-4 взяты из перспективного плана ITRS 2002, цены в котором очень высоки. Низкие диапазоны цен относятся к корпусам с периметрическим расположением выводов, а более высокие – к корпусам с матричным расположением выводов, таких как BGA и FBGA.

По мнению многих экспертов в последующие годы цены могут не достичь уровня рентабельности из-за низкой прогнозируемой стоимости.

3.5.6 Доступность Компоненты с шагом, равным 1,5, 1,27 или 1,0 мм поставляются в больших объемах во многих странах мира. Выпускаются также и корпуса с шагом выводов от 0,80мм до 0,50мм, которые используются во многих перспективных портативных устройствах. К сожалению, некоторые производители компонентов разрабатывают собственные варианты корпуса BGA. С одной стороны это делается для того, чтобы затруднить копирование конструкции; с другой стороны таким образом удерживается доля компании в обороте рынка. Этот подход препятствует возникновению альтернативного источника поставок и ограничивает разработчика, который вынужден выбирать определенное нестандартное изделие у единственного поставщика компонентов.

3.5.7 Пустоты в шариковых выводах BGA Для совершенствования контроля пайки выводов корпусов BGA многие производители используют рентгеновские установки, системы внутрисхемного контроля и автоматических системы оптического контроля и их сочетания. Некоторые проверяют наличие пустот при помощи рентгеновских установок для определения критериев допуска / отбраковки. Некоторый объем пустот в паяных соединениях неизбежен..

Дискуссия о степени допустимости пустот продолжается до сих пор. Сторонники пустот доказывают, что плохи не столько пустоты, сколько их расположение. Например, если большая пустота находится между шариком и платой, это неизбежно приведет к отсутствию смачивания, что является недопустимым. Большинство пустот в выводах BGA образуется в шариках намного выше платы, поэтому несмачиваемые припоем участки не образуются.

3.5.8 Проблемы стандартизации Во многих компонентах BGA используются стандартные материалы печатных плат (подложек), однако их испытания на надежность осуществляются путем проведения стандартных испытаний для компонентов. JEDEC и IPC предпринимают попытки стандартизировать испытания для этих новых корпусов в соответствии с предельными требованиями для большинства приложений. Большая часть компонентов в таких корпусах предназначено для использования в офисном оборудовании, переносных компьютерах и портативных электронных устройствах, для которых не существует требований обеспечения бесперебойной работы в течение всего срока службы, необходимые в других областях.

Чтобы привести условия испытаний в соответствие с условиями эксплуатации приборов, необходимы специальные квалификационные стандарты. Для многих технологических направлений характерными являются низкая стоимость, широкий набор функций при малых размерах, высокая производительность и жесткие условия эксплуатации. Обеспечение надежности работы электронной аппаратуры в жестких условиях, в частности, используемой в авиакосмической и автомобильной ("под капотом") отраслях, требуют проведения многократно ускоренных испытаний при повышенной нагрузке (Highly Accelerated Stress Testing - HAST).

3.5.9 Вопросы надежности Проблемы надежности связаны как с самими компонентами BGA, так и с паяными соединениями компонентов, смонтированных на подложке, обычно на печатной плате из органического материала. Проблемы надежности компонентов решаются в процессе монтажа кристалла на подложку, предназначенную для соединения контактных площадок кристалла с матрицей выводов. Для подсоединения кристалла в течение многих лет используется технология разварки проволочных соединений.

Эта технология хорошо изучена и обеспечивает высокий выход годных при использовании в корпусах BGA. Другой распространенной технологией является установка кристалла лицевой стороной на основание (технология flip chip). Технология flip chip требует более жесткого контроля положения контактных площадок на соединительном основании для совмещения их с контактными площадками кристалла. Кроме того, если подложка изготовлена из органических материалов, в процессе установки также потребуется заполнение компаундом, чтобы свести к минимуму вероятность усталостного разрушения из-за различия коэффициентов теплового расширения кремниевого кристалла и подложки.

Накопление усталостных повреждений в паяных соединениях на уровне сборки ослабляется при уменьшении различия CTE и увеличении высоты зазора. Надежность паяных соединений можно оптимизировать, обеспечив полное понимании условий эксплуатации изделия с учетом руководящих принципов надежностного проектирования (DfR) по методике, предложенной в стандарте IPC-D-279. При выборе технологии финишной обработки поверхности необходимо учитывать риск образования "усов" олова и охрупчивания золота. Необходимо избегать использования толстых слоев золота (более 0.25 мм) в качестве финишной обработки, чтобы понизить риск охрупчивания припоя золотом.

4 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ

4.1 Сравнительные характеристики корпусов и критерии выбора

4.1.1 Сравнительные характеристики корпусов Существует большое разнообразие типов корпусов интегральных схем, но только четыре формы выводов: выводы, расположенные в ряд (как в один, так и в два), матрица выводов, выводы J-типа, выводы в виде крыла чайки. Наиболее распространенными формами выводов интегральных схем для поверхностного монтажа являются выводы J -типа и выводы в виде крыла чайки. Из этих двух форм выводов для микросхем в пластиковых корпусах чаще всего используются выводы в виде крыла чайки. Одним из самых больших недостатков таких выводов является их хрупкость, которая приводит к таким повреждениям, как нарушение копланарности, изгиб и сдвиг.

Повреждение выводов является одной из главных причин дефектов в корпусах с выводами в форме крыла чайки. Хотя именно такие выводы наиболее часто используются в корпусах с малым и большим количеством контактов, компоненты в корпусах BGA также получили широкое распространение благодаря высокой надежности, небольшим размерам (при том же количестве выводов) и улучшенным электрическим характеристикам.

Длина сигнальных проводников в системах с компонентами BGA может быть намного меньше, чем в системах с корпусами с большим числом выводов в форме крыла чайки, что является предпочтительным для высокоскоростных применений. ИС в корпусах BGA обеспечивают более высокий выход годных на уровне печатных узлов благодаря самоцентровке таких корпусов во время пайки. Ввиду того, что матрица может вмещать большее число выводов при малом форм-факторе, технология BGA оказалась практичным решением и для изготовления корпусов с большим числом выводов.

4.1.2 Критерии выбора корпусов BGA Стремление сделать электронные системы быстрее, меньше и легче приводит к усложнению компоновки компонентов, плат и систем. Одной из причин этого усложнения является широкое применение SMT-компонентов малого размера – главного направления миниатюризации в электронной промышленности. Шаг выводов устройства также является важным фактором усложнения процесса производства. Чем меньше шаг выводов, тем больше должна быть точность каждой операции сборки: установки, нанесения паяльной пасты и пайки. Точность инспектирования и ремонта также должна повышаться.

Главными критериями выбора корпуса BGA являются тепловые и электрические характеристики, площадь полупроводникового кристалла и цена. Требования к корпусу компонента зависят от типа системы. Например, микропроцессоры класса high-end работают на повышенных частотах и требуют применения корпусов с более высокими тепловыми и электрическими параметрами. Для улучшения тепловых параметров компонентов применяются теплоотводы, системы охлаждения, радиаторы и вентиляторы (установленные на радиаторах) и пр. Для улучшения электрических характеристик применяются многослойные корпуса и корпуса с увеличенным числом выводов, а также общее увеличение емкости корпуса. Для создания приборов с большой емкостью корпуса обычно используются герметичные керамические корпуса. Для систем среднего класса производительность также важна, но также важна и цена (хотя нельзя сказать, что для систем класса high-end цена неважна).

4.1.3 Стоимостные критерии Интегральные схемы типа рамки с выводами традиционно характеризуются низкой себестоимостью производства. Причиной этого являются очень высокие объемы производства при небольшом разнообразии типов корпусов. Это позволяет производителям использовать одинаковые механические и формовочные процессы для различных применений. С другой стороны, корпуса с матричным расположением выводов чаще всего разрабатываются и изготовляются для специальных применений. Начальная стоимость компонента в корпусе BGA с количеством выводов менее 200 скорее всего будет выше, чем у компонента типа рамки с выводами. Это объясняется тем, что для каждого компонента необходимо разрабатывать свою подложку, а также необходимостью дополнительных операций в процессе сборки. Ценовой паритет между ИС в корпусах типа рамки с выводами и ИС в корпусах BGA обычно достигается при производстве устройств с количеством выводов более 200.

4.1.4 Подача компонентов Корпуса BGA могут устанавливаться с поддона или блистерной ленты. Подача с ленты по стандарту EIA применяется, если компоненты сравнительно малы по размеру и / или при очень большом объеме производства.

Стандартизированные в JEDEC поддоны с фиксированной длиной, шириной и толщиной применяются в соответствии с указаниями по совершенствованию производственного процесса (см. публикацию 95 JEDEC , раздел 4.9 и раздел 4.10). Интегральные схемы в пластиковых корпусах, включая BGA, характеризуются способностью поглощать влагу, что может привести к повреждению корпуса во время пайки. Чтобы защитить ИС от попадания воды, заполненные лотки поставляются в защищенных от статического электричества и влагонепроницаемых герметичных конвертах (конверты допускается вскрывать только непосредственно перед установкой ИС на платы, см. 4.8.5).

Покупателю рекомендуется заказывать компоненты BGA в пластиковых корпусах в поддонах, а не в блистерной ленте. Поддон позволяет при необходимости выполнить сушку устройств, которые подвержены поглощению влаги. Например, если пластиковые корпуса BGA находятся под воздействием окружающей среды в течение свыше 24 часов, перед установкой, их скорее всего будет необходимо просушить. Пластиковые поддоны, рассчитанные на сушку компонентов, выдерживают температуру до 125°C. С другой стороны, материал блистерной ленты выдерживает температуру только до 50°C, при превышении этой температуры лента повреждается. Поэтому сушка чувствительных к влажности корпусов BGA на ленте может занять несколько дней.

4.1.5 Температурные характеристики Необходимость оптимизации температурных характеристик возникла с появлением сверхбыстрых микропроцессоров. В новых поколениях микропроцессоров уровень рассеиваемой мощности непрерывно повышается. С ростом тактовой частоты растет и рассеиваемая мощность. Проблема рассеиваемой мощности немного снижается за счет уменьшения размеров кристалла, ставшего возможным благодаря миниатюризации транзисторов в современном полупроводниковом производстве, и тенденции к снижению напряжения питания. (По мере уменьшения геометрических размеров кристалла возрастает напряженность электрического поля, вызывая необходимость снижения напряжения питания, чтобы избежать разрушительного эффекта.) Керамические устройства BGA обычно используются для устройств с повышенной мощностью, т.к. они обладают повышенной теплопроводностью по сравнению с пластиковыми. Однако пластиковые корпуса также развиваются, и термостойкие пластиковые корпуса уже широко используются в промышленности. Ранее термостойкие пластиковые корпуса использовались при мощностях рассеивания до 6-8 Вт, однако, с появлением встроенных металлических радиаторов появилась возможность поднять мощность до 30 Вт.

4.1.6 Размеры Ограничение размера изделий - один из движущих факторов в процессе снижения размера корпуса компонента. Это способствует широкому распространению компонентов поверхностного монтажа, которые не только меньше по размеру, но и могут устанавливаться с обеих сторон платы. Однако, т.к. количество выводов растет, шаг между проводниками должен уменьшаться для сохранения размера корпуса в приемлемом для производства диапазоне.

При уменьшении шага выводов в корпусе BGA появляется возможность установки большего числа компонентов на единицу площади.

Хотя размер платы сейчас позволяет реализовывать больше функций на единицу площади, разводка соединений между такими компонентами как FBGA (BGA с малым шагом), является сложной задачей. В этом случае для разводки может потребоваться увеличение числа проводящих слоев на всей плате. Т.о. размер поверхности уменьшается за счет увеличения числа проводящих слоев.

4.1.7 Электрические характеристики К электрическим характеристикам относятся качество передачи сигналов, рабочая частота, мощность и количество выводов. С ростом частоты возникает необходимость более точного контроля импеданса; также становятся заметными и вносимые потери. С контролем импеданса появляется необходимость в согласованных нагрузках для устранения или снижения отражения сигнала. В случае включения согласующих сопротивлений параллельно источнику и / или нагрузке важных сигнальных линий потребляемая мощность повышается. Кроме того, при прочих равных условиях потребляемая мощность растет пропорционально квадрату тактовой частоты. В целях снижения энергопотребления сложных цифровых ИС проводятся исследования в области создания маломощных полупроводниковых микросхем. К счастью, с развитием технологии изготовления ИС мощность, затрачиваемая на логическую операцию, снижается за счет уменьшения размеров устройств. В случае с керамическими корпусами, даже при увеличении контактных площадок в высокоскоростных устройствах, числа выводов питания и заземления поддерживается на минимальном уровне за счет использования высокой внутренней емкости керамического корпуса и применения встроенных развязывающих конденсаторов.

4.2 Установка кристалла в корпус BGA Существует множество способов установки кристалла в корпус BGA. В зависимости от способа передачи сигнала от кристалла к матрице шариковых выводов можно выделить три основные технологии. Кристалл может подключаться к выводам с помощью проволочных соединений, проводящего материала (технология flip chip) и с помощью ленточного соединения. Подложка может выполняться из керамики или органических материалов. Характеристики корпуса зависят от характеристик материала подложки и ее размеров. Далее приведено описание технологий установки кристалла в корпус.

4.2.1 Разварка проволочных соединений Существует два основных вида устройств BGA, производящихся по технологии разварки проволочных соединений. К ним относятся: технология «кристалл на плате» (chip-on-board (COB)), когда активная поверхность кристалла повернута от подложки, и «плата на кристалле» (board-on-chip (BOC)), когда активная поверхность кристалла прилегает к подложке. В структуре COB контактные площадки кристалла обычно расположены по его периметру, а проволочные соединения создают электрический контакт между контактными площадками на кристалле и на подложке. В случае использования конструкции COB монтаж проволочных выводов выполняется от подложки / ПП к кристаллу (так называемая обратная разварка), что позволяет уменьшить высоту корпуса или, в некоторых случаях, разместить другой кристалл поверх первого.

Кристалл может быть закреплен на подложке с помощью проводящего или непроводящего клея. Использование проводящего клея необходимо, если с обратной стороны кристалла требуется электрическое соединение. Отрицательной чертой проводящего клея является невозможность использования области под кристаллом для разводки проводников. Размер заземляющей площадки под кристаллом зависит от предъявляемых требований. Если достаточно выполнить частичное заземление, то остальную площадь под кристаллом можно использовать для трассировки сигнальных цепей, но при этом потребуется защита от проводящего клея при помощи паяльной маски. Если электрическое контакт кристалла с подложкой не требуется, то для закрепления можно использовать непроводящий клей. В этом случае площадку под кристаллом можно использовать для прокладки сигнальных проводников, см. рисунки 4-1 и 4-2.

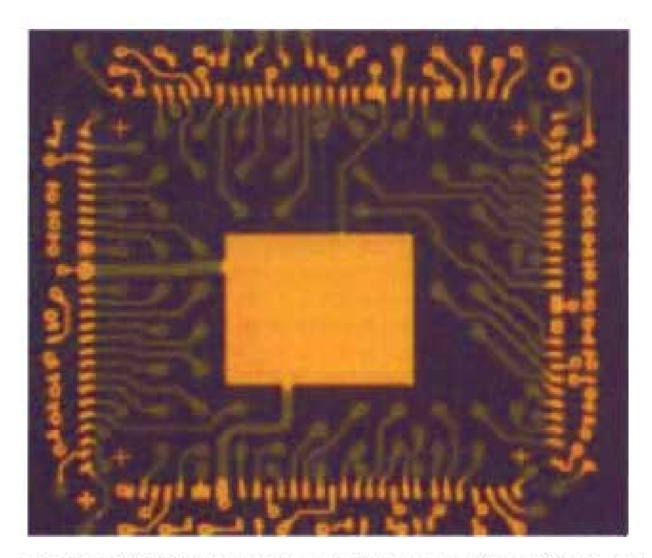
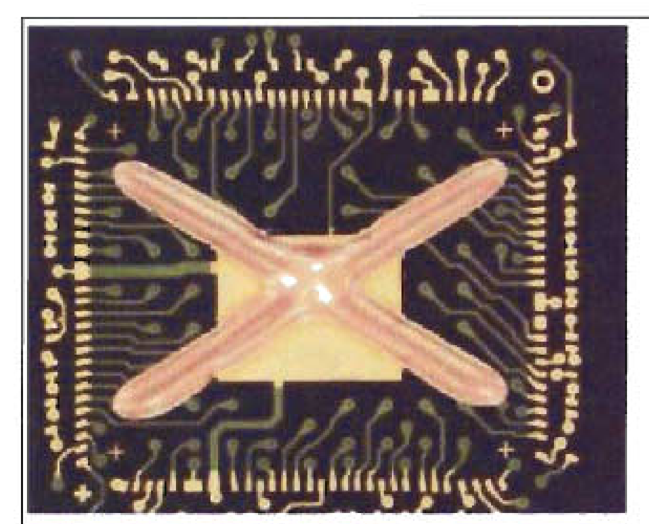


Рисунок 4-1 Часть площади под кристаллом используется для его заземления. Остальная поверхность используется для прокладки сигнальных цепей, но покрыта паяльной маской для изоляции от проводящего клея под кристаллом.

Клей, с помощью которого кристалл крепится на подложке, не должен нарушать целостность проводников и электрических сигналов. Электрическое соединение контактных площадок кристалла и подложки можно производить после установки кристалла и полимеризации клея. Для соединения этих контактных площадок используется золотая или алюминиевая проволока. Передача электрических сигналов от контактных площадок подложки к шариковым выводам производится с помощью сквозных металлизированных отверстий в подложке. Для защиты кристалла и контактных площадок после разварки проволочных соединений обычно используется герметизация, влагозащитное покрытие или заливка пластиком. Герметизация проводится путем формирования сферического покрытия или запрессовки. В качестве альтернативы герметизации можно использовать установку заранее изготовленных крышек после монтажа кристалла на плате.



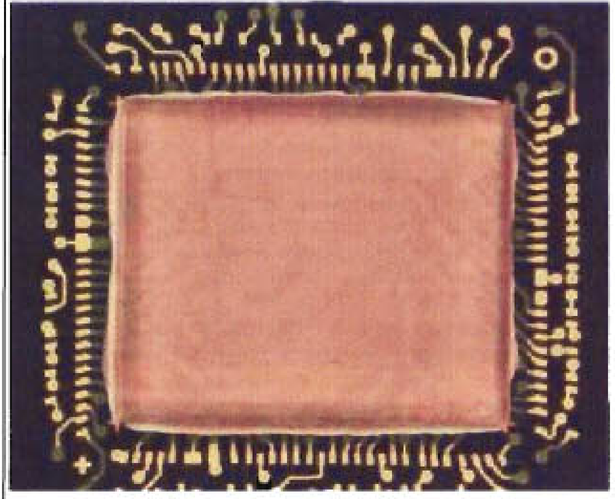


Рисунок 4-2 Использование стеклянного кристалла для оптимизации нанесения клея с целью обеспечения контролируемого заполнения и выдавливания без образования пустот. На рисунке вверху показан способ нанесения клея на место установки кристалла. На нижнем рисунке показан установленный стеклянный кристалл, позволяющий наблюдать пустоты и характер заполнения. Клей полностью перекрывает кристалл для закрепления но лишь частично соединен с землей через заземляющую площадку, которая меньше кристалла; при этом большая часть поверхности под кристаллом используется для прокладки проводников, экономится полезная площадь кристалла и уменьшается размер корпуса.

В случае использования длинных проводников может потребоваться использование герметизирующего материала типа "глоб топ" для гашения колебаний проводников.

В случае использования технологии BOC или при установке кристалла на подложку в перевернутом виде, контактные площадки обычно располагаются по периметру кристалла или рядами в его центре. В соответствующем месте подложки выполнены прорези для контактных площадок кристалла. Клей для закрепления кристалла на подложке наносится слева и справа от контактных площадок. Клей наносится в виде пасты или пленки. Активная сторона кристалла (сторона схемы) обращена вниз к поверхности подложки, прорезь в которой оставляет открытыми контактные площадки кристалла, как показано на рисунке 4-3.

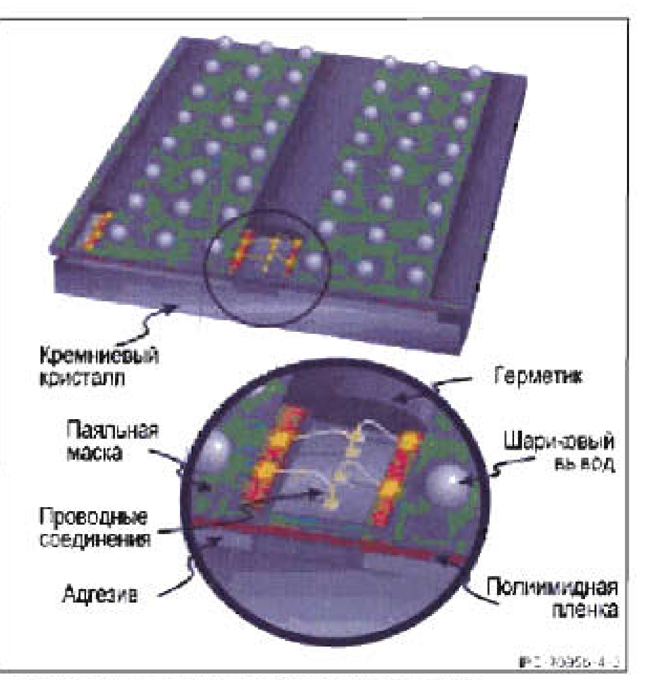


Рисунок 4-3 Конструкция корпуса BGA типа BOC

После установки кристалла и полимеризации клея выполняется разварка проволочных соединений между контактными площадками кристалла и контактными площадками, окружающими прорезь в подложке. Затем проводники и открытая поверхность кристалла герметизируются. Следует заметить, что для создания прорези в подложке и разварки проволочных соединений с кристаллом один или несколько рядов выводов должны быть не подключены. Также необходимо учитывать, что проволочные соединения привариваются по центру кристалла и не требуют дополнительного места для контактных площадок по его периметру. На рисунке 4-4 изображена верхняя и нижняя часть корпуса BGA, герметизированного заливкой.

4.2.2 Технология flip chip Технология установки flip chip (прямое соединение кристалла с подложкой) устраняет необходимость использования проволоки для соединения контактных площадок кристалла с контактными площадками подложки. В данной конструкции кристалл переворачивается схемой вниз, а контактные площадки кристалла (с заранее нанесенным припоем) соединяются с площадками подложки пайкой или с помощью проводящего клея. Однако сами по себе контактные площадки кристалла необязательно сразу готовы к пайке или соединению клеем. Одной из широко применяемых предварительных процедур является нанесение припоя на площадки кристаллов перед разрезкой пластины. Материалы припоя и контактных площадок подбираются таким образом, чтобы уменьшить электрическое сопротивление и оптимизировать механическое соединение; типичная конструкция показана на рисунке 4-5.

Также можно выполнить соединение и при помощи проводящего клея или полимера, однако в этом случае может потребоваться выполнение контактных площадок кристалла из сплава драгоценных металлов, хорошо сочетаемого с материалом проводящих частиц в клее. Шарик или столбик из этого сплава наносится на контактную площадку кристалла электрохимическим способом или припаивается. Если используется припой или изотропный проводящий клей, то может потребоваться заполнение зазора между кристаллом и

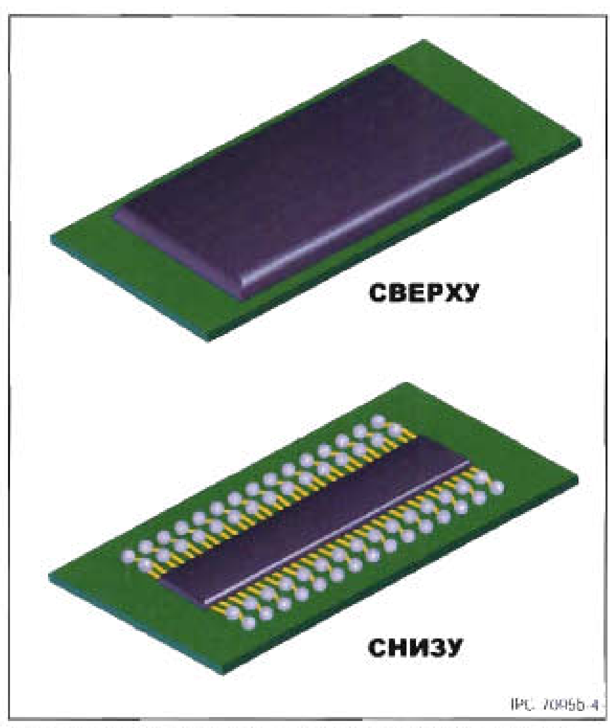


Рисунок 4-4 Верхняя часть литого корпуса BGA типа BOC

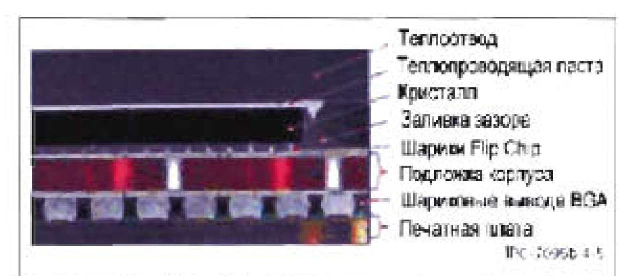


Рисунок 4-5 Сборка flip-chip (кристалл со столбиковыми выводами) на подложке BGA

подложкой эпоксидной смолой, чтобы обеспечить надежный механический контакт между ними. Использование анизотропного проводящего материала устраняет необходимость дополнительного применения компаунда. После установки кристалла на подложку обычно выполняется его герметизация, покрытие или заливка.

4.3 Стандартизация Стандартизация корпусов BGA подразумевает определение некоторых физических параметров, включая диаметр шарика и точность его позиционирования внутри контура компонента.

4.3.1 Промышленные стандарты BGA Подробную информацию по вариантам корпусов, физическим размерам и допускам параметров смотрите в следующих нормативах по корпусам BGA, разработанных в организации JEDEC.

4.3.1.1 Корпуса BGA В спецификации JEDEC JEP95, раздел 4.14, описано семейство корпусов с матричным расположением шариковых и столбиковых выводов. Матричный корпус с шариковыми выводами (BGA) или со столбиковыми выводами (CGA) – это корпус квадратной или прямоугольной формы с шагом выводов 1,50, 1,27 и 1,00 мм с матрицей металлических шариков или столбиков с обратной стороны. Основная часть компонента представляет собой диэлектрическую подложку, на которую нанесена металлизированная схема. К подложке с верхней или нижней стороны прикреплен кристалл (кристаллы). С обратной стороны диэлектрического основания располагается матрица металлических шариков или столбиков, предназначенных для механического и электрического соединения устройства с печатной платой. Для защиты полупроводника подложка с кристаллом может быть герметизирована по одной из соответствующих технологий.

4.3.1.2 Корпус BGA с малым шагом выводов В спецификации JEDEC JEP95, раздел 4.5, описывается разновидность корпуса BGA (FBGA) с уменьшенным шагом выводов (< 1,00 мм). Основная часть компонента представляет собой диэлектрическую подложку, на которую нанесена металлизированная схема. На верхней или нижней стороне подложки установлен один или несколько полупроводниковых кристаллов. С обратной стороны диэлектрической подложки располагается матрица металлических шариков, предназначенных для создания механического и электрического соединения между устройством и печатной платой. Для защиты полупроводника подложка с кристаллом может быть герметизирована по одной из соответствующих технологий. Семейство корпусов FBGA квадратной формы предусматривает четыре возможных значения шага выводов - 0,50, 0,65, 0,75 и 0,80 мм, а также четыре варианта высоты корпуса. Шаг 0,75 мм добавлен в перечень стандартных размеров шага для корпусов BGA, размеры которого совпадают с размерами кристалла (Die Size BGA - DSBGA), обеспечивая таким образом четыре варианта по шагу с целью создания семейства компонентов.

Общая высота профиля FBGA от печатной платы до верхней точки компонента составляет не менее 1,70 мм. Также существуют низкопрофильные корпуса FBGA (Low-Profile FBGA) – вариант корпуса FBGA уменьшенной высоты. Полная высота корпуса LFBGA, измеряемая от печатной платы до верхней точки компонента не превышает 1,20 мм. Тонкопрофильные корпуса FBGA (Thin-Profile FBGA – TFBGA) – вариант корпуса FBGA еще меньшей высоты, которая не превышает 1,00 мм (также измеренная от печатной платы до верхней точки компонента). Наконец, сверхтонкопрофильный корпус FBGA (Very-Thin-Profile FBGA – VFBGA) – вариант корпуса FBGA минимальной высоты, составляющей не более 0,80 мм (измеряется аналогичным образом).

Руководство по проектированию корпусов FBGA JEDEC допускает дополнительное увеличение диаметра шарика при увеличении расстояния между осевыми линиями выводов, как показано в таблице 4-1. Несмотря на то, что в этой редакции стандарта JEDEC шаг выводов 0,75 мм не поддерживается, производятся компоненты и с таким шагом.

Таблица 4-1 Стандарт JEDEC JEP95-1/5
Допустимые отклонения диаметра шариковых выводов компонентов FBGA

Шаг выводов	Диаметр шарика в мм		
	Мин.	Номин.	Макс.
0.50	0.25	0.30	0.35
0.65	0.25	0.30	0.35
0.65	0.35	0.40	0.45
0.80	0.25	0.30	0.35
0.80	0.35	0.40	0.45
0.80	0.45	0.50	0.55

При использовании жесткой подложки допускается установка шариков большего диаметра. Больший диаметр шарика позволяет компенсировать значительную разницу коэффициентов теплового расширения между кремниевым кристаллом и жестким материалом ПП.

В публикации JEDEC JEP95, раздел 4.22, дается определение конфигурации FBGA корпус-на-корпусе (PoP), которая состоит по меньшей мере из двух микроэлектронных корпусов, собранных в пакет вертикально. Хотя подобная укладка корпусов возможна для различных типов компонентов, в данном руководстве по проектированию внимание уделяется только сборке в пакет корпусов с малым шагом шариковых выводов (FBGA). На верхней поверхности нижнего корпуса в пакете имеются металлизированные площадки, посредством которых осуществляется механическое и электрическое присоединение верхнего корпуса. Расположение шариковых выводов верхнего корпуса способствует осуществлению соединения между корпусами. Особое внимание в данных руководящих указаниях уделяется расположению шариков и площадок в порядке, способствующем укладке в пакет. По возможности используются размеры, определенные в стандарте EP95, раздел 4.6.

4.3.1.3 Прямоугольный корпус BGA с малым шагом выводов В спецификации JEDEC Publication JEP95, раздел 4.6, описывается прямоугольный корпус BGA с матрицей металлических шариковых выводов с малым шагом (Fine-Pinch Rectangular BGA, FRBGA), расположенных с нижней стороны корпуса. С одной или с обеих сторон прямоугольной диэлектрической подложки нанесена металлизированная схема. В соответствие с описанием JEP95, раздел 4.5, размеры корпусов FRBGA определяются как D и E. Размер D – это размер корпуса, измеряемый по оси вдоль большей его стороны, а размер E - размер, измеряемый вдоль оси меньшей стороны. Т.о. размер D прямоугольного корпуса больше размера E.

4.3.1.4 Корпуса BGA, размеры которого совпадают с размерами кристалла В спецификации JEDEC Publication JEP95, раздел 4.7, описан корпус BGA, размер которого совпадает с размерами кристалла (Die-Size BGA, DSBGA). Снизу корпуса компонента DSBGA находится матрица металлических шариковых выводов. С одной или с обеих сторон квадратной или прямоугольной диэлектрической подложки нанесена металлизированная схема. Полупроводниковый кристалл прикрепляется к диэлектрической подложке сверху.

С обратной стороны диэлектрической подложки располагается матрица металлических шариков, предназначенных для установки механического и электрического соединения между устройством и печатной платой. Для защиты полупроводника подложка с кристаллом может быть герметизирована по одной из соответствующих технологий. Размеры подложки делаются как можно ближе к размерам кристалла.

Корпус BGA, размеры которого совпадают с размерами кристалла (DSBGA) – вариант корпуса BGA, размеры которого максимально близки к размерам кристалла. Такой корпус иногда называют корпусом BGA с «реальным размером кристалла» или CSP. Размеры корпуса позволяют разместить внутри только определенный кристалл, и при изменении размеров кристалла размеры корпуса также будут изменяться. Корпус может иметь квадратную или прямоугольную форму, но соотношение сторон также может изменяться при изменении размеров кристалла. Даже у одинаковых по функциональному назначению устройств от разных производителей соотношение размеров сторон корпуса может быть различным. Главными стандартизуемыми параметрами корпусов DSBGA являются размер и соотношение сторон матрицы шариковых выводов.

Параметры D и E определяют размер корпуса DSBGA. В корпусах с прямоугольной матрицей выводов ориентация размеров определяется матрицей. Размер D – это размер корпуса, измеряемый по оси, вдоль большей стороны матрицы, а размер E – размер, измеряемый по оси вдоль ее меньшей стороны. Таким образом, для прямоугольных корпусов размер D не обязательно больше, чем E, как в корпусах FRBGA по спецификации JEDEC JEP95, раздел 4.6. Корпус DSBGA с квадратной матрицей шариковых выводов должен соответствовать спецификации JEDEC, требующей, чтобы размер D был больше, чем размер E. В соответствии с требованиями стандарта JEDEC Publication 95 размеры D и E определяются с шагом 0,50 мм. Значения параметров D и E корпуса DSBGA определяются путем округления в большую сторону до следующей величины, кратной 0,50 мм. Таким образом, значения размеров D и E имеют вид y,00 или y,50.

Шаг выводов корпуса DSBGA не должен быть обязательно одинаковым вдоль сторон D и E матрицы. Если шаги неодинаковы, то соответствующие размеры и допуски для всего корпуса рассчитываются на основе размеров шарика и допусков, действующих для меньшего из двух шагов. Контрольный шаг матрицы шариковых выводов корпуса DSBGA всегда меньше 1,0 мм. Шаги между контактами DSBGA определенные в стандарте JEP95, раздел 4.7, равны 0,80, 0,75, 0,65 и 0,50 мм.

4.3.2 Шаг шариковых выводов В зависимости от шага матрицы шариковых выводов делятся на две группы. В первую группу включаются пластиковые и керамические корпуса с шагом 1.50, 1.27, и 1.00 мм. Ко второй группе относятся корпуса семейства BGA с малым шагом выводов, размером 0.80, 0.65, 0.50 и 0.75 мм для корпусов BGA, размер которых совпадает с размером кристалла.

Очень немногие производители продолжают изготавливать компоненты с шагом 1,5 мм из-за тенденции к уменьшению размеров корпусов BGA. Хотя допускаются и значения шага 0,4 мм и менее, применение таких компонентов ограничено из-за сложности их установки обычным оборудованием для поверхностного монтажа. Размер шага играет большую роль в определении допустимого диаметра шариков. В таблице 4-2 приведены характеристики шариков, которые используются в компонентах с шагом выводов от 0,5 мм до 1,5 мм.

Таблица 4-2 Диаметры шариков корпусов PBGA

Номинальный диаметр шарика (мм)	Допуски (мм)	Шаг (мм
0.75	0.90 - 0.65	1.5, 1.27
0.60	0.70 - 0.50	1.0
0.50	0.55 - 0.45	1.0, 0.8
0.45	0.50 - 0.40	1.0, 0.8, 0.75
0.40	0.45 - 0.35	0.80, 0.75, 0.65
0.30	0.35 - 0.25	0.80, 0.75, 0.65, 0.50

Хотя это и не обязательно, несимметричное расположение шариков дает дополнительное преимущество, обеспечивая возможность автоматического определения ориентации в процессе сборки. Например, можно пропустить один из угловых шариковых выводов в матрице, которая без этого была бы симметричной.

4.3.2.1 Перспективные размеры шариковых выводов В отличие от показанных в таблице 4-2, предполагаемые в перспективе размеры корпусов BGA, приведенные в таблице 4-3, не являются обязательными.

Таблица 4-3 Перспективные диаметры шариков корпусов PBGA

Номинальный диаметр шарика, мм	Допуски, мм	Шаг, мм
0.25	0.28 - 0.22	0.40
0.20	0.22-0.18	0.30
0.15	0.17-0.13	0.25

4.3.2.2 Аппроксимация контактных площадок Контактные площадки на подложке компонента (в месте крепления шарикового вывода) и контактные площадки на печатной плате должны иметь максимально близкие диаметры. Изготовители компонентов определили, что диаметр контактной площадки компонента должен быть немного меньше диаметра шарика. Разница диаметров зависит от размера шарика, который используется для определения среднего размера контактной площадки. Технологический допуск для размера контактной площадки, определенный изготовителями, составляет 0,1 мм между условием максимума материала (Maximum Material Condition (MMC)) и условием минимума материала (Least Material Condition (LMC)).

В таблице 4-4 приведены значения размеров контактных площадок и их отклонения для шести наиболее распространенных диаметров шариков.

Многие изготовители компонентов используют контактные площадки, ограниченные паяльной маской (см. раздел 6.2.2). Если применяется данная технология, номинальный диаметр контактной площадки должен быть увеличен на величину

Таблица 4-4 Аппроксимация размеров площадки

Номинальный диаметр шарика, мм	Уменьше-ние	Номинальный диаметр площадки, мм	Допустимые размеры площадки, мм
0.75	25%	0.55	0.60 - 0.50
0.60	25%	0.45	0.50 - 0.40
0.50	20%	0.40	0.45 - 0.35
0.45	20%	0.35	0.40 - 0.30
0.40	20%	0.30	0.35 - 0.25
0.30	20%	0.25	0.25 - 0.20

захода паяльной маски на контактную площадку (обычно около 0,1 мм). В этом случае диаметр отверстия окна в паяльной маске является диаметром площадки, к которой будет припаян шарик, а реальный размер контактной площадки получится немного больше, чтобы разместить всю паяльную маску. При этом следует учитывать, что плотность разводки уменьшится из-за увеличения контактной площадки. В таблице 4-5 приведены данные по аппроксимации перспективных размеров контактных площадок. Данные приведены для размеров шариков от 0,25 до 0,15 мм. Взаимосвязь между размерами шарика и размерами контактной площадки, ограниченной паяльной маской, такая же, как в таблице 4-4.

Таблица 4-5 Аппроксимация перспективных размеров контактных площадок

Номинальный размер шарика, мм	Уменьше-ние	Номинальный размер площадки, мм	Допустимые размеры площадки, мм
0.25	20%	0.20	0.20-0.17
0.20	20%	0.15	0.15-0.12
0.15	20%	0.10	0.10-0.08

Тенденция к увеличению количества выводов ИС и уменьшению размеров корпуса дает возможность производителям повысить функциональность и эффективность работы продукции. Таблица 4-6 может оказаться полезной при расчете размеров контактных площадок для широкого диапазона устройств, в которых используются компоненты BGA.

4.3.3 Размеры корпуса BGA В зависимости от типоразмеров корпуса с матричными шариковыми выводами подразделяются на две группы: квадратные и прямоугольные. Семейство корпусов квадратной формы включает размеры 4 x 4 мм и меньше, 50 x 50 мм и больше. В диапазоне свыше 21 x 21 мм приращение размеров составляет от 2,0 до 2,5 мм с одинаковым шагом. В корпусах компонентов с размерами более 21 x 21 мм малые шаги выводов применяются очень редко. Семейство корпусов BGA прямоугольной формы обладает теми же размерами в диапазоне от 4,0 до 50 мм, изменяющимися в зависимости от применения. В данном семействе возможно намного больше вариантов размеров, чем в семействе квадратных корпусов. Стандартные значения шага изменения размеров в прямоугольных корпусах обычно не используются. Чаще всего в прямоугольных корпусах изготавливаются микросхемы памяти; размеры таких корпусов стремятся делать близкими к размерам кристаллов. Стандартизация размеров прямоугольных корпусов обычно осуществляется только в пределах небольшого числа специальных применений. Размеры корпусов компонентов BGA с малым шагом выводов (не более 0,8 мм), редко превышают 21 мм.

Таблица 4-6 Расчет размеров контактных площадок относительно размера шариков для текущих и перспективных корпусов BGA (мм)

RLP	Размер площадки		Допуск положения	Разброс размера шариков	Размер шарика			% уменьшения от номинала	Допуск на разброс
	MMC	LMC			Номинал	MMC	LMC		
050	0.60	0.90	0.750	0.25	0.75	0.90	0.65	25%	0.25
051	0.50	0.40	0.10	0.20	0.700	0.70	0.50	25%	0.20
052	0.45	0.35	0.550	0.550	0.550	0.55	0.45	20%	0.17
053	0.40	0.30	0.10	0.10	0.45	0.40	0.40	20%	0.17
054	0.35	0.25	0.450	0.450	0.40	0.45	0.35	20%	0.17
055	0.25	0.2520	0.05	0.300	0.30	0.35	0.25	20%	0.15
056	0.2220	0.17	0.05	0.06	0.25	0.28	0.22	20%	0.08
057	0.15	0.182	0.05	0.04	0.1820	0.22	0.18	20%	0.07
058	0.1320	0.08	0.05	0.04	0.15	0.17	0.13	20%	0.07

Компоненты BGA с малым шагом выводов (FBGA) имеют корпуса с шариковыми контактами с шагом от 0,8 до 0,4 мм и с фиксированными размерами D (длина) и E (ширина). Корпуса FBGA похожи на описанные выше семейства пластиковых и керамических корпусов BGA, только имеющие фиксированные размеры. Хотя корпус FBGA обычно только на 20% больше, чем кристалл, его форма не изменяется при уменьшении размера кристалла.

Корпус BGA, размеры которого совпадают с размерами кристалла (Die Size Ball Grid Array - DSBGA) – это корпус с шариковыми выводами с шагом от 0,8 до 0,50 мм и с изменяемыми размерами D (длина) и E (ширина). Корпус DSBGA имеет форму кристалла, который обычно является прямоугольным, и в настоящее время широко используется в устройствах памяти Flash и DRAM. В прямоугольных корпусах, размеры которых совпадают с размерами кристалла, (Rectangular Die Size (RDS)) при уменьшении кристалла меняются и размеры D и E.

4.3.4 Влияние размеров шариков на другие параметры Величина полного отклонения зависит от трех основных параметров: точность позиционирования, допуск шарика и допуск подложки. Наихудшее возможное отклонение получается при сложении этих параметров, однако статистическое среднее значение определяется как среднеквадратичная величина этих значений. В таблице 4-6 приведены значения полного отклонения системы для девяти стандартных размеров шариков. Как было сказано выше, стандартные номинальные диаметры шариковых выводов равны 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,40, 0,45, 0,50, 0,60 и 0,75 мм. На размер шариковых выводов влияют значения максимальной высоты корпуса и шага, а также требуемая надежность паяного соединения.

4.3.5 Компланарность Важнейшим требованием, предъявляемым к корпусам для поверхностного монтажа, является компланарность выводов. Требования компланарности для корпусов BGA значительно отличаются от аналогичных требований для корпусов поверхностного монтажа с выводами, расположенными по периметру. Компланарность для BGA – это расстояние от поверхности контакта компонента до плоскости установки. Таким образом, степень некомпланарности определяется как максимальное расстояние между самым нижним и самым верхним контактами при установке компонента на абсолютно плоской поверхности. Это определение соответствует установке корпуса на плате, по крайней мере, на три вывода.

Допуск компланарности определяет расстояние от плоскости установки до верхней точки корпуса. Этот размер включает высоту зазора, толщину корпуса и (если есть) толщину крышки. Присоединенные элементы, такие как радиаторы и т.п., не учитываются. Однако встроенный теплоотвод не считается присоединенным элементом. Если компонент содержит пластиковую подложку, возможно возникновение дополнительных проблем компланарности, обусловленных адаптацией подложки больших размеров и поддержания ее плоскостности в пределах допусков. Это, отчасти, объясняет установку максимально допустимого значения компланарности BGA 150 мкм. Большинство поставщиков предпочитают выдерживать допустимый предел компланарности BGA примерно 200 мкм, но пользователи предпочитают не более 100 мкм (см. раздел 4.6.2.6 и 4.8.4).

Требования компланарности для различных типов BGA различаются. В таблице 4-7 приведены предельные значения копланарности для корпусов BGA по спецификации JEDEC.

Таблица 4-7 Примеры корпусов BGA с регистрацией JEDEC

Вид корпуса	Тип корпуса	Копланарность
MO-151	Пластиковый BGA	0.20 мм
MO-156/MO-157	Керамический BGA	0.15 мм
MO-195	BGA с малым шагом	0.08 мм

Значения компланарности по JEDEC могут отличаться в зависимости от формы корпуса из-за металла, используемого для изготовления шариков. При низких температурах шариковые выводы из эвтектических сплавов (точка плавления 183°C) оседают во время пайки, поэтому требования компланарности для них не такие жесткие, как для шариков из высокотемпературных сплавов (точка плавления 302°C), которые не оседают в процессе сборки.

4.4 Критерии выбора корпусов компонентов В руководстве JEDEC по проектированию корпусов BGA не определяются конкретные материалы и способы монтажа компонентов. Материалы, используемые для изготовления корпусов, могут меняться в зависимости от того или иного поставщика и применения. Основой конструкции, как правило, являются армированные органические ламинаты, неармированные полиимидные пленки или керамика. Керамические корпуса BGA часто поставляются с неоседающими шариковыми выводами из высокотемпературного припоя (90% свинца, 10% олова) с температурой плавления 302°C. Размер шарика

зависит от шага выводов и размера корпуса. С целью обеспечения надежности большие по размеру корпуса обычно комплектуются шариковыми выводами больших размеров. Поскольку керамические корпуса сравнительно плоские, а допуски диаметров шариков довольно малы, требования компланарности могут быть также довольно строгими. Как правило, поставщик керамического корпуса предоставляет рекомендации по выбору подходящей паяльной пасты для монтажа.

Однако корпуса BGA на основе пластиковых ламинатов и полиимидной пленки имеют серьезные отличия. Корпус на основе ламината обычно сделан из того же материала, который идет на изготовление печатных плат; он обладает высокой температурой стеклования (Tg). В качестве материала с высокой температурой стеклования Tg, некоторые производители корпусов используют бисмалеимидные смолы. Армированные полиимиды и полиимидные пленки обладают еще большей температурой стеклования и также широко применяются для изготовления корпусов BGA и FBGA.

4.4.1 Сплав, из которого изготавливаются шариковые выводы Для изготовления шариковых выводов в корпусах BGA, выполненных из армированных ламинатов и полиимидных пленок, применяется большое количество различных сплавов. Во многих случаях для выводов используются эвтектические припои с температурой плавления (перехода в жидкое состояние) 183°C (или 179°C для эвтектических припоев с 2% содержанием серебра). Шариковые выводы обычно устанавливаются на подложку только при помощи флюса и пайки оплавлением при температуре 215-220°C.

4.4.1.1 Оловянно-свинцовые технологические сплавы В оловянно-свинцовой технологии BGA используется обычный эвтектический сплав Sn63Pb37 с точкой плавления 183°C. Эвтектический сплав, содержащий серебро, Sn62Pn36Ag2, имеет точку плавления 179°C и является приемлемой альтернативой сплаву Sn63Pb37. При использовании оловянно-свинцовой технологии для керамических корпусов BGA обычно применяется сплав с высоким содержанием свинца Sn10Pb90, что обеспечивает требуемую надежность паяных соединений. Этот сплав не плавится в процессе пайки оловянно-свинцовыми припоями и обеспечивает надежное соединение корпусов с платой при использовании эвтектики Sn63Pb37.

4.4.1.2 Бессвинцовые технологические сплавы Для применений, требующих бессвинцовых припоев, в качестве материалов шариковых выводов и паяльных паст используются припои с содержанием олова, серебра и меди. Такие припои обладают температурой плавления в диапазоне от 210 до 227°C и требуют температуры пайки свыше 240°C; соответствующие максимальные температуры для корпуса могут быть выше 260°C. Корпуса BGA могут поставляться с шариковыми выводами, в которых применяются сплавы, не расплавляющиеся при температуре пайки. В таких случаях неоседающие шариковые выводы закрепляются на корпусе при помощи паяльной пасты, применяемой для сборки печатных плат.

Сплавы бессвинцовых припоев, используемые для изготовления шариковых выводов BGA, обычно содержат Sn, Cu и Ag. Исходный состав бессвинцовых сплавов для шариковых выводов обычно аналогичен сплавам, применяемым в сборочном процессе - Sn96.5Ag3.0Cu0.5 (SAC305), Sn95.5Ag3.8Cu0.7 (SAC387) или Sn95.5Ag4.0Cu0.5 (SAC405). Для снижения количества дефектов, связанных с прочностью удержания шариков на корпусе и восприимчивостью к механическим нагрузкам, некоторые поставщики компонентов BGA могут использовать измененный состав материала шариков. Для некоторых типов корпусов изменение заключается в снижении содержания серебра (Ag) в припое SAC от 3-4% до 0.3%. Возможна добавка в сплав и других элементов, однако эти добавки могут повлиять на точку плавления припоя, вызвать образование различных интерметаллических соединений, изменение микроструктуры и появление нехарактерных для матрицы свойств. В зависимости от конкретного сплава температура плавления шарикового вывода может возрасти на 10°C. Это может существенно повлиять на процесс сборки печатных узлов. Поэтому применять новые сплавы при изготовлении компонентов BGA и использовать эти компоненты в сборочных процессах следует с большой осторожностью.

4.4.2 Процесс закрепления шарика Подложки обычно изготавливаются в виде лент, содержащих несколько корпусов (см. рисунок 4-6). Установка шариковых выводов осуществляется после завершения разварки и заливки пластиком или иной герметизации. При массовом выпуске компонентов BGA применяют как автоматическую, так и полуавтоматическую установку шариков. Шарики необходимого размера (как показано в таблице 4-1) устанавливаются при помощи установочных машин или наносятся через приспособления трафаретного типа. При освоении производства и для выпуска малых объемов применяются простые трафареты для точного размещения шариков. Однако общий процесс установки шариков такой же. Сначала на контактные площадки наносится жидкий или пастообразный флюс. Флюс удерживает шарики на месте во время пайки. Пайка шариков к подложке часто проводится в азотной среде. Азот помогает обеспечить постоянство качества шариков и предохраняет их поверхность от окисления во время пайки. Однако при монтаже корпуса на плату применение азота не всегда является необходимым. Шарики из эвтектического припоя обеспечивают «управляемое оседание», что позволяет компенсировать некоторый сдвиг при установке (самоцентрирование).

Существует несколько вопросов, требующих решения при использовании пластиковых корпусов BGA – чувствительность к влажности и ремонт после снятия с платы. Для восстановления шариков (реболлинга) на пластиковых корпусах BGA после снятия их с платы требуются специальные инструменты и навыки. Этот процесс может не требоваться для керамических компонентов BGA с выводами из неоседающих тугоплавких шариков, т.к. они не плавятся во время ремонта.

Пластиковые корпуса BGA также подвержены деформации под воздействием высокой температуры, требуемой для пайки. Кромки корпуса во время пайки изгибаются вверх или вниз и могут серьезно повредить или

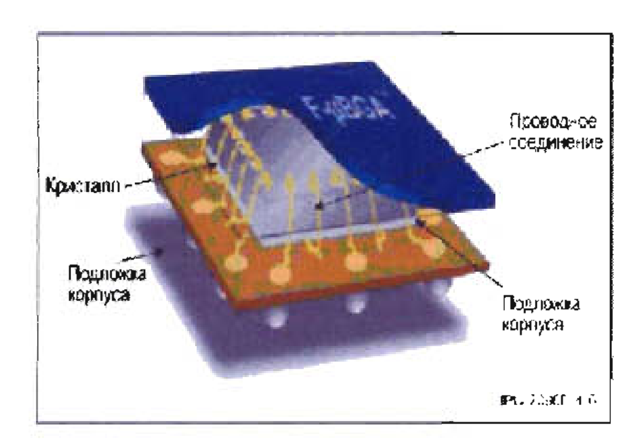


Рисунок 4-6 Пластиковый корпус BGA

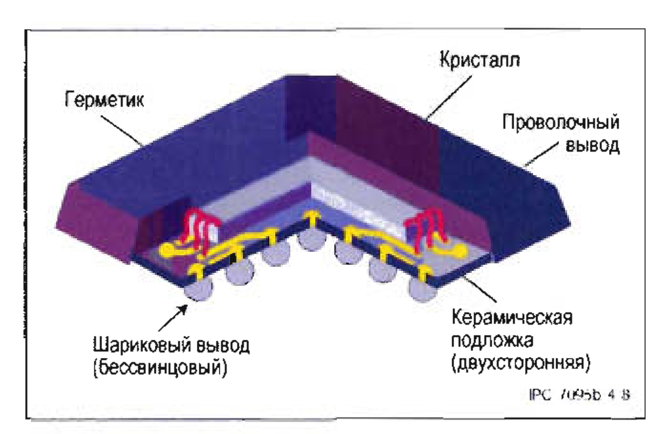


Рисунок 4-8 Керамический корпус CBGA

разорвать электрическую связь между корпусом и платой. Большие корпуса даже больше подвержены деформации, чем маленькие. Деформация корпуса обусловлена разностью коэффициентов теплового расширения между подложкой, компаундом и находящимся внутри кремниевым кристаллом. Эта проблема может обостриться, если кристалл большой, или если на корпусе установлен радиатор.

4.4.3 Керамические корпуса CBGA Внутренние соединения в керамических корпусах могут формироваться с помощью технологии разварки проволочных соединения и технологии flip-chip (перевернутый кристалл). На рисунке 4-7 изображен кристалл, установленный в корпусе по технологии flip-chip. Кристалл может устанавливаться в корпусе на верхней (полость вверху) или на нижней стороне подложки (полость внизу). В керамических корпусах, типичное исполнение которых показано на рисунке 4-8, для шариковых выводов обычно используются высокотемпературные сплавы (90% свинца, 10% олова) с температурой плавления 302°C. Однако сплав для установки шарика может быть и эвтектическим (Sn63Pb37).

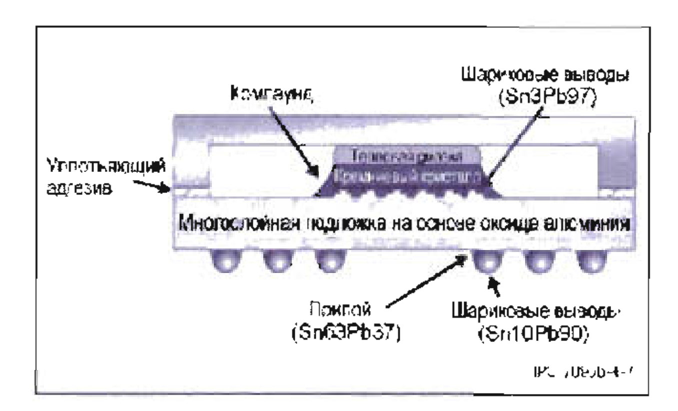


Рисунок 4-7 Керамический корпус CBGA в разрезе

Хотя для защиты кристалла широко используются заливка пластиком, некоторые керамические корпуса BGA являются герметичными (не пропускают влагу внутрь). Поскольку шарики припоя имеют высокую температуру плавления, они не оседают во время пайки, поэтому реболлинг после снятия компонента может и не потребоваться.

Недостатком керамических корпусов BGA является то, что количество теплоты, требуемое для их пайки, сильно отличается от количества теплоты, необходимого для ИС в пластиковых корпусах, что может значительно усложнить разработку профиля пайки оплавлением. Может понадобиться компенсация разности коэффициентов теплового расширения керамического корпуса и печатной платы. Паяное соединение может не обеспечить ожидаемой надежности в жестких условиях без заливки эпоксидной смолой для предотвращения сдвига компонента.

4.4.4 Керамические корпуса со столбиковыми выводами Столбиковые выводы из припоя, изображенные на рисунке 4-9, используются в больших керамических корпусах (от 32 до 45 мм). Такой корпус имеет сходство с существовавшими ранее корпусами с матричным расположением выводов-штырьков (pin-grid-array), однако отличается меньшим шагом и более хрупкими выводами (столбиками). Диаметр столбикового контакта составляет около 0,5 мм при длине от 1,25 до 2,0 мм. Столбики закрепляются в корпусе либо с помощью эвтектического припоя (Sn63Pb37), либо ввариваются при помощи сплава 90% свинца и 10% олова. Применение длинных столбиков обычно повышает надежность паяного соединения путем поглощения большого количества напряжений, создаваемых разностью коэффициентов теплового расширения керамического корпуса и платы.

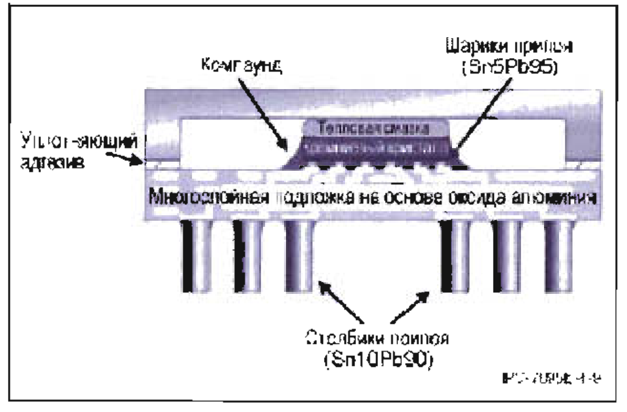


Рисунок 4-9 Керамический корпус со столбиковыми выводами (CCGA) в разрезе

С другой стороны, длинные столбики могут ухудшить электрические характеристики и увеличить общую высоту

корпуса. Столбики не так жестки, как шариковые выводы и подвержены повреждениям во время подачи компонентов.

4.4.5 Ленточные BGA Ленточные (на основе полиимидной пленки) BGA, изображенные на рисунке 4-10, характеризуются малой высотой корпуса. Тонкая диэлектрическая полиимидная пленка покрывается одним или двумя металлическими слоями для прокладки внутри корпуса проводников с высокой плотностью.

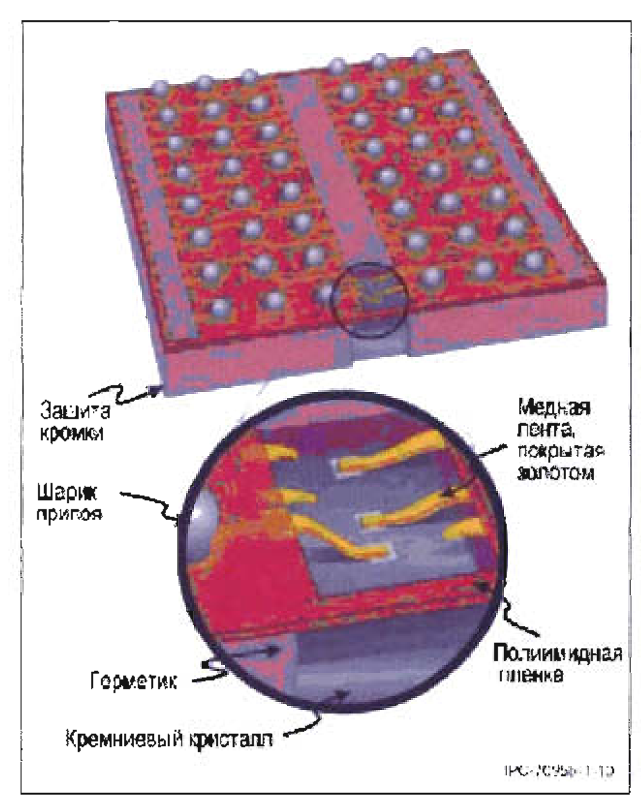


Рисунок 4-10 Подложка корпуса µBGA на основе полиимидной пленки с приваренными выводами обеспечивает надежное соединение между контактными площадками кристалла и шариковыми выводами

Для корпуса BGA на основе полиимидной пленки, изображенного на рисунке, разность коэффициентов теплового расширения не является проблемой, т.к. гибкость клея, которым удерживается кристалл, и подложки компенсирует напряжения, возникающие в корпусе. Для соединения кристалла и подложки в корпусе BGA на основе ленты применяются технологии разварки проволочных и ленточных соединений, а также flip-chip (перевернутый кристалл). Ленточная подложка с одним металлическим слоем обычно используется в устройствах с невысокой стоимостью и с небольшим количеством выводов, а ленточная подложка с двумя металлическими слоями – в приборах с большей стоимостью или с высоким быстродействием.

Дополнительный слой (например, из меди) предназначен для обеспечения эффективного заземления, значительного снижения индуктивности и уменьшения влияния помех переключения. Слой заземления также служит для снижения уровня шумов, но количество стоков тока на землю также влияет на величину индуктивности. Подложка с двумя металлическими слоями, изображенная для сравнения на рисунке 4-11, не только обеспечивает лучшие электрические характеристики, но также значительно улучшает трассируемость схемы внутри корпуса.

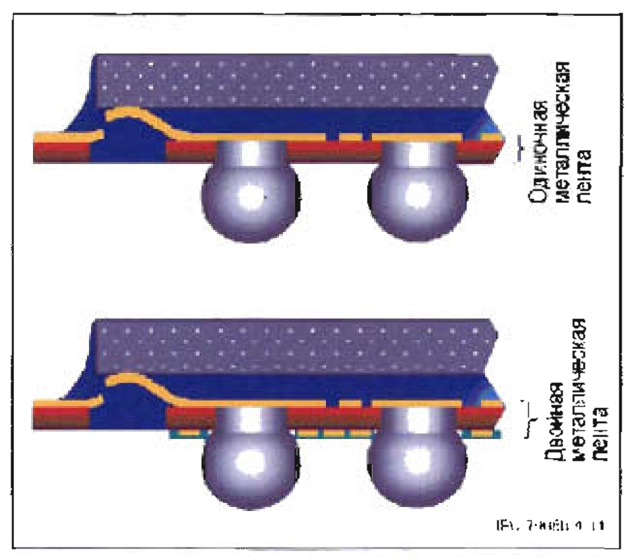


Рисунок 4-11 Сравнение трассируемости дорожек внутри корпуса с одним и двумя металлическими лентами

Трассируемость схемы в однослойном металлическом материале ограничена узким просветом диэлектрика между местами присоединения шариковых выводов. Т.к. шаг между контактами уменьшается до 0,50 мм, пространство между контактами уменьшается до 75 мкм, обеспечивая возможность прокладки только одного токопроводящего канала. Данный фактор ограничивает использование компонентов с одиночным металлическим слоем только узкой номенклатурой устройств с малым количеством выводов.

4.4.6 Многокристальные компоненты Портативные и беспроводные устройства являются наиболее быстро развивающейся областью применения ИС с высокой степенью интеграции. Как в сфере изготовления печатных плат, так и в сфере производства интегральных схем технология миниатюризации сложных функциональных электронных устройств продолжает развиваться.

Целью этой технологии являются портативные и сверхмалые электронные устройства. Цифровые фото- и видеокамеры, например, должны быть простыми в управлении, легкими и производительными. Сотовые телефоны, пейджеры, коммуникаторы, карманные компьютеры, промышленная электроника, персональные системы GPS, медицинские и диагностические комплексы, все эти устройства являются кандидатами на эффективную миниатюризацию.

Устройства памяти, такие как Flash, SRAM и SDRAM – первые устройства, которые начали выпускаться по технологиям FBGA и CSP в больших объемах. Цифровые сигнальные процессоры, контроллеры, ЦПУ и большое количество специализированных ИС также являются потенциальными кандидатами на выпуск в виде многокристальных компонентов. Во многих устройствах с несколькими кристаллами для связи кристалла с подложкой применена простая технология разварки проволочных соединений. Кристалл и проволочные соединения затем герметизируются или заливаются пластиком для создания готового продукта. Технология разварки проволочных соединений может применяться для установки двух или трех кристаллов один над другим в одном корпусе, однако высота компонента значительно увеличивается при добавлении каждого дополнительного кристалла.

Установка двух или трех интегральных схем в один корпус дает увеличение эффективности как в соотношении исполняемых функций при тех же размерах, так и в производительности. Установка нескольких кристаллов в одном корпусе потенциально увеличивает плотность компонента и повышает эффективность трассировки проводников между компонентами на печатной плате. На рисунке 4-12 изображены некоторые способы установки кристаллов один поверх другого на одной подложке.

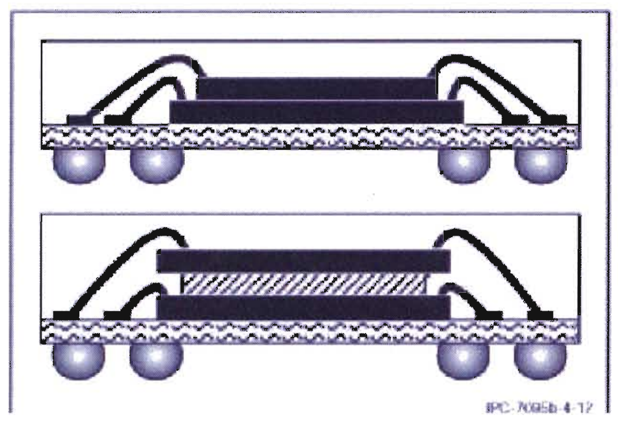


Рисунок 4-12 Установка кристаллов один над другим в одном корпусе BGA

Наиболее распространена установка кристаллов разных размеров один поверх другого в виде пирамиды, но если размеры кристаллов одинаковы, между ними необходимо поместить заполнитель, чтобы обеспечить разварку проволочных соединений от каждого кристалла.

4.4.7 Система в корпусе (System-in-Package, SiP) С целью обеспечения пространства для дополнительных функций компании производителей комбинируют несколько связанных функций в пределах единого корпуса. Несмотря на то, что некоторые компании предпочитают разрабатывать многофункциональный кристалл (система на чипе, system-on-chip), для многих других этот выбор оказывается непрактичным. Вследствие больших затрат времени на разработку заказного кристалла с многофункциональными возможностями большинство компаний сочло более целесообразным сочетание (пакетирование) уже апробированных кристаллов в структуре единого корпуса (см. пример пакета кристаллов (die-stack) на рисунке 4-13).

Показанная на нем конфигурация включает два кристалла флэш-памяти 1 ГБ NAND , два 256 МБ SDRAM, два кристалла флэш-памяти 256 МБ NOR, один 128 МБ UtRAM и один кристалл 64UtRAM. Это очень впечатляющее применение сборки кристаллов в пакете, и компания, являющаяся поставщиком большинства или всех кристаллов в едином корпусе, обеспечивает удовлетворительный выход годных изделий при окончательной сборке. Однако из-за разнообразия производственных процессов и различия уровня надежности кристаллов, получаемых из нескольких источников, достижение заданного уровня показателей стоимости сборки в целом не всегда оказывается возможным.

Для обеспечения качества и надежности бескорпусных элементов перед сборкой их в едином корпусе их необходимо подвергнуть определенным электрическим испытаниям.

Специализированные ИС, простые логические схемы, некоторые процессоры и линейные цепи в какой-то степени проявляют стабильность, но единственным способом обеспечить качество и надежность является тестирование. Сочетание логики и памяти в едином корпусе, например, выдвигает весьма реальную проблему. Способы тестирования

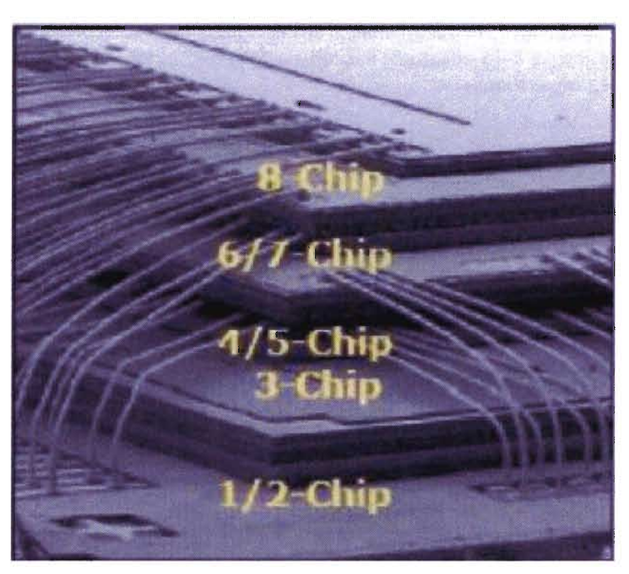


Рисунок 4-13 Специализированная SiP-сборка, состоящая из восьми кристаллов (flip-chip с разваркой проволочных выводов)

этих двух функций существенно различаются, что может в дальнейшем привести к снижению уровня доверия пользователя к конечному продукту.

4.4.8 Объемные многокристальные ИС Технология изготовления кристаллов памяти (Flash, SRAM и т.п.) характеризуется высоким процентом выхода годных изделий. Повреждения могут возникать во время подачи и установки компонентов, но в целом процесс изготовления и испытаний проходит большой процент ИС памяти. Гибкий материал подложки позволяет складывать несколько кристаллов в одном корпусе FBGA, по размерам лишь слегка превышающем самый большой кристалл.

На рисунке 4-14 изображен типичный корпус со сложенными кристаллами, совмещающий три отдельных кристалла в едином корпусе.

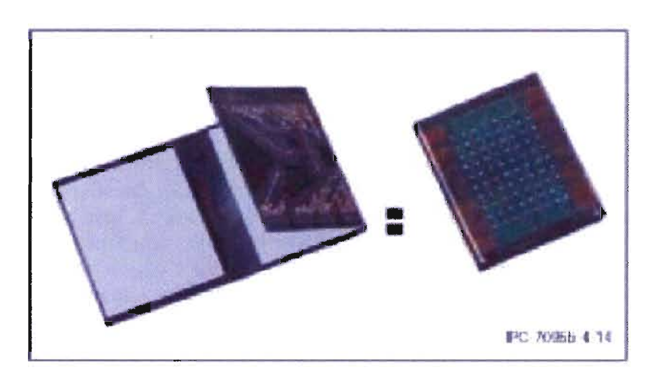


Рисунок 4-14 Корпус BGA с несколькими сложенными кристаллами

4.4.9 Многослойные ИС BGA Хотя технология изготовления многослойных многокристальных ИС не ограничивается только устройствами памяти, основной сферой применения этой технологии являются кристаллы DDR-SDRAM. Технология многослойного объединения нескольких ИС позволяет сборщикам компьютеров и изготовителям модулей памяти увеличить объем памяти на одной плате в восемь раз по сравнению с существующим на сегодняшний день. Упаковка один над другим нескольких предварительно проверенных кристаллов, выполненных по технологии FBGA, является идеальным решением при изготовлении модулей памяти. Контроль, сортировка и классификация модулей памяти перед соединением позволяет

обеспечить использование всего потенциала компонентов. На рисунке 4-15 показаны несколько устройств, упакованных в единую сборку.

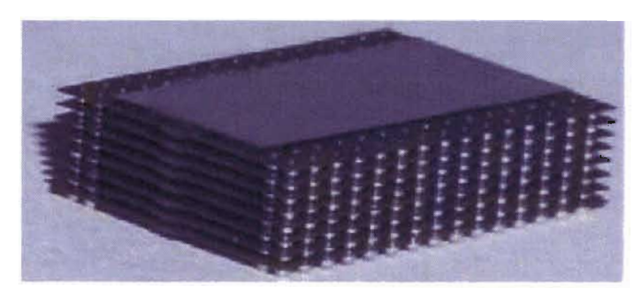


Рисунок 4-15 Сборка FBGA "корпус - на - корпусе"

Последовательная упаковка в одном корпусе предварительно проверенных ИС FBGA позволяет резко увеличить плотность компоновки и функциональность компонента. В качестве практического примера реального применения этой технологии оцените динамику и потенциал объема памяти одностороннего модуля SO-DIMM, показанного на рисунке 4-16.

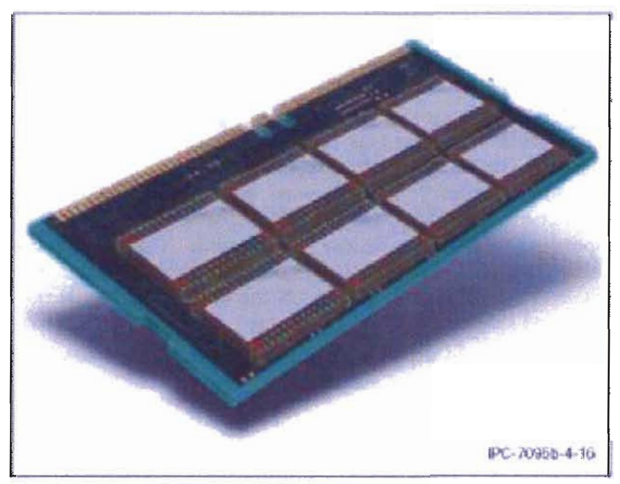


Рисунок 4-16 Компоновка платы памяти SO-DIMM

4.4.10 Объемные и многослойные ИС Поскольку процент выхода годных изделий при изготовлении процессоров и специализированных ИС не так предсказуем, как у микросхем памяти и других менее сложных устройств, необходимо проведение предварительного контроля отдельных кристаллов. Кроме того, объединение двух компонентов с разным процентом выхода годных изделий в одном корпусе очень рискованно. Чтобы снизить риск брака, можно собирать многокристальное устройство последовательно.

Если конечная цель объединения нескольких устройств в одном корпусе достижима, установка и контроль отдельных кристаллов перед финишной сборкой кажется идеальным решением. Проблемы, связанные с общим контролем и процентом выхода годных изделий можно легко разрешить путем вертикальной укладки отдельных корпусов. Примером такого подхода может быть изготовление и контроль специализированной микросхемы отдельно от схем памяти в двухсекционном формате, как показано на рисунке 4-17.

Нижний и верхний слои с кристаллами изготавливаются и тестируются перед складыванием и соединением. После выполнения складывания и соединения поверхностных контактов две протестированные секции становятся единым

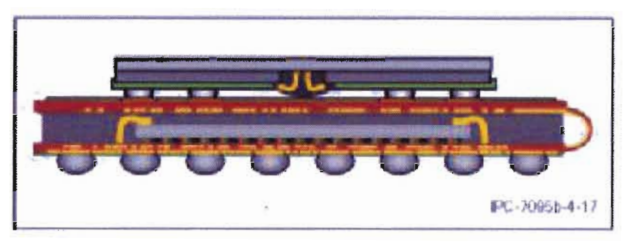


Рисунок 4-17 Корпус BGA со сложенными и собранными в пакет кристаллами

многофункциональным компонентом с высоким процентом выхода годных устройств. Кроме того, при наличии универсальной конфигурации контактных площадок интерфейса на верхней поверхности секции со специализированной ИС можно собирать несколько вариантов микросхем с разным объемом памяти в одинаковом корпусе.

4.4.11 Преимущества многокристальных компонентов Основным преимуществом многокристальных корпусов является резкое увеличение степени интеграции. Это позволит уменьшить размер и вес готового изделия и увеличить его функциональность. Улучшение функциональности достигается путем интеграции устройств нескольких типов. Другими преимуществами является уменьшение сложности печатной платы и повышение качества изделия благодаря увеличению надежности и снижению риска для продукции на рынке. Благодаря поставкам уже зарекомендовавших себя кристаллов от различных поставщиков, период внедрения и стоимость эксплуатации сводится к минимуму. Тем не менее, во время разработки многокристальных устройств возникает ряд проблем. Вот главные из них:

• Работа с несколькими поставщиками.

• Определение наилучших методов контроля и отбраковочных испытаний.

• Доступность кристаллов и пластин.

• Сочетание устройств с высоким и низким процентом выхода годных изделий.

• Общее качество и надежность продукции

4.5 Разъемы, выполненные по технологии BGA

4.5.1 Выбор материала для разъемов BGA Разъем BGA, показанный на рисунке 4-18, представляет собой сравнительно низкий горизонтальный или параллельный интерфейс между двумя схемами. Материал разъема выбран таким образом, чтобы выдерживать температуру пайки компонентов поверхностного монтажа и обеспечивать надежное соединение в различных условиях окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться конечное изделие.

Очень важно знать свойства материала разъема. В течение срока службы изделия печатная плата будет подвержена многократным изменениям температуры. Изменение температуры приводит к расширению / сжатию всех компонентов схемы, включая разъем BGA. Поэтому из-за теплового взаимодействия разъема с печатной платой выбор материала разъема является важной задачей. В частности, коэффициент теплового расширения (КТР) материала разъема BGA должен быть равным КТР материала печатной платы.

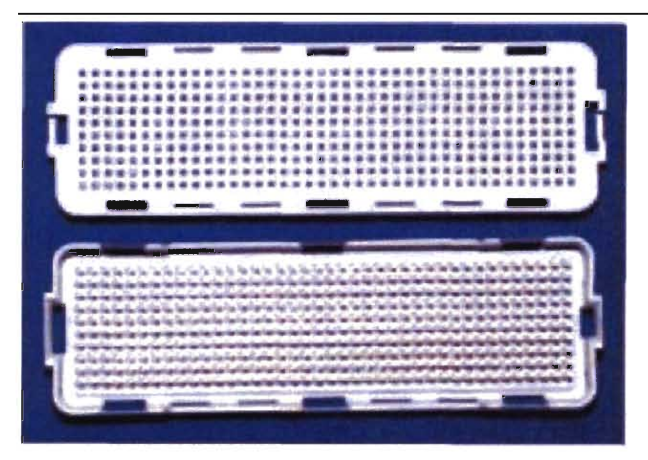


Рисунок 4-18 Разъем BGA

Если существует большая разница в значениях КТР у разъема (обычно жидкокристаллический полимер) и печатной платы (обычно материал FR-4), термические напряжения в паяных соединениях могут вызвать растрескивание и, в конце концов, нарушение контакта

4.5.2 Особенности установки разъемов BGA

Для установки и пайки разъемов BGA на печатной плате необходимо решить несколько задач. Некоторые конструкции разъемов BGA не позволяют осуществлять захват стандартными вакуумными захватами для SMT-компонентов. В таком случае возможно использование двух способов:

1. Захват с помощью механического зажима специальной конструкции.

2. Разработка разъема BGA с крышкой или применение другой вспомогательной поверхности, чтобы обеспечить возможность использования стандартного вакуумного захвата.

Оба способа могут успешно применяться в процессе производства, а выбор наиболее подходящего зависит от конструкции разъема. В зависимости от материала разъема следует уточнить параметры процесса пайки и сравнить температуру припоя с температурой стеклования Tg материала разъема. Когда температура разъема поднимается выше значения Tg, разъем изгибается вниз к плате («прогиб») или вверх от платы («изгиб»). Реальное поведение зависит от формы и материала разъема и поверхностного натяжения шариков разъема на плате. Также для обеспечения успешного процесса пайки необходимо учесть компланарность контактов разъема. Необходимая компланарность шариковых выводов определяется поведением материала во время пайки и общим размером разъема. Обычно требования к компланарности контактов разъемов BGA более жесткие, чем у стандартных ИС в корпусе BGA, вследствие большего размера разъемов.

4.6 Конструктивные материалы для корпусов BGA

4.6.1 Материалы для изготовления подложек Для изготовления подложек корпусов BGA используются различные материалы. На выбор материала влияет множество разных факторов, включая цену, среду использования, требования надежности и пр.

Выбор материала также зависит от технологии производства BGA и сложности конструкции, необходимой для подключения контактов кристалла к матрице выводов. Материал подложки выбирается не только по электрическим характеристикам, но и на основе механических свойств. Большинство производителей компонентов требуют, чтобы материал, используемый для распределения выводов, соответствовал нагрузочным испытаниям по стандарту JEDEC, JESD22, метод тестирования A102B. Тест заключается в помещении материала в аппарат высокого давления на 168 часов. Эти жесткие, сильно ускоренные нагрузочные испытания позволяют использовать только наиболее прочные материалы в качестве подложки.

4.6.1.1 Бисмалеимидный триазин – стекло (BT) Бисмалеимид-триазиновые смолы в комбинации с армирующим стекловолокном, являются широко распространенным материалом, использующимся для изготовления подложек корпусов BGA. Такой материал поставляется несколькими производителями и обеспечивает хорошие температурные характеристики (благодаря сравнительно высокой температуре стеклования). Кроме того, электрические характеристики BT-смол (IPC-4101/30 в диапазоне T_g 170-220°C) являются достаточными для многих интегральных схем.

4.6.1.2 Стеклоэпоксид (FR-4) Хотя огнестойкий стеклотекстолит на основе эпоксидной смолы используется в основном для изготовления печатных плат, его можно ограниченно использовать и для производства подложек компонентов BGA. Стеклотекстолиты FR-4 с высокой температурой стеклования Tg (тетрафункциональные, многофункциональные) преимущественно используются в производстве многослойных печатных плат, однако они также пригодны и для изготовления подложек корпусов BGA. Последние достижения в области создания материалов на основе эпоксидных смол позволили существенно улучшить температурные характеристики и догнать BT-материалы по температуре стеклования. Другим преимуществом использования текстолита FR-4 при изготовлении компонентов BGA является тот же коэффициент теплового расширения, что и у печатной платы, на которую устанавливается корпус. Стандарт IPC-4101 был существенно расширен для соблюдения нормативов RoHS и выполнения требований к бессвинцовой пайке. Разработаны составы для сведения к минимуму степени разложения и избыточного расширения в направлении оси Z во время процессов пайки (температура в процессах может превышать 260°C). Вследствие того, что состав стеклоэпоксидных материалов для плат у различных производителей изменяется в широких пределах, создать единую спецификацию для них невозможно. Требованиям RoHS удовлетворяют шесть спецификаций - IPC-4101/99, /101, /121, /124, /126 и /129. Имеются лишь небольшие различия для составных элементов с диапазоном T_g 110 - 170°C и диапазоном разложения (Td) 310 - 340°C. Все они имеют по UL класс возгораемости V-O (см. таблицу 4-8).

4.6.1.3 Огнестойкие добавки для FR-4 В отношении ингибиторов горения, используемых при производстве композитных материалов FR-4, директива RoHS не разрешает применение некоторых соединений брома, но не запрещает бромированные материалы, используемые в настоящее время в качестве ингибиторов горения стеклопластиков при производстве подложек. К бромсодержащим соединениям,

Таблица 4-8 Краткий обзор свойств FR-4 - листы спецификаций IPC-4101B, запланированные для повышения стойкости при бессвинцовой сборке

Свойства	Спецификации IPC-4101B					
	/99	/101	/121	/124	/126	/129
T_gмин (°C)	150	110	110	150	170	170
T_g макс (°C)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Td мин (°C)	325	310	310	325	340	340
Наполнители	да	да	нет	нет	да	нет
Ингибитор горения	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR	RoHS BR
Возгораемость	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
Макс. КТР по оси Z - альфа 1	60	60	60	60	60	60
Макс. КТР по оси Z - альфа 2	300	300	300	300	300	300
Макс. КТР по оси Z (50-260°C)	3.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.5
T-260 (минуты)	30	30	30	30	30	30
T-288 (минуты)	5	5	5	5	15	15
T-300 (минуты)	AABUS	AABUS	AABUS	AABUS	2	2
Макс. рабочая темп. по UL (°C)	AABUS	AABUS	AABUS	AABUS	130	130

запрещенным директивой RoHS относятся те из них, которые остаются в виде независимых молекул в полимерной матрице. Это, в частности, полибромированный бифениловый эфир (PBDE) или полибромированный дифенил оксид (PBBO), а также полибромированные бифенилы (PBB). К содержащим бром соединениям, удовлетворяющим требованиям RoHS, относятся соединения, которые вступают в реакцию и становятся химической частью полимерной матрицы, например тетрабромдифенол A (TBBPA). Соответствие требованиям RoHS не означает, что материал основы должен не содержать галогенов. Некоторые бромированные ингибиторы горения, включая наиболее популярный ингибитор для FR-4, TBBPA, одобрены директивой RoHS, а применение декабромо-дифенилового эфира (DBDPE) было разрешено в порядке исключения.

4.6.1.4 Керамика Керамическими называются подложки, изготовляемые из материалов на основе оксида алюминия. Этот материал исторически был одним из первых, использовавшихся для изготовления корпусов с матричным расположением штырьковых выводов, а также применялся в самых первых корпусах BGA. Керамические подложки обладают повышенной теплопроводностью, и, при изготовлении их в форме крышки с полостью, обеспечивают герметичность корпуса. Однако керамика имеет и ряд ограничений. Например, она обычно имеет большую стоимость, более хрупкая, имеет более высокую диэлектрическую проницаемость (которая ограничивает скорость передачи сигнала), а ее коэффициент теплового расширения намного ниже, чем у типичных печатных плат, на которые она обычно устанавливается. Последний недостаток наиболее важен, так как он ограничивает общий размер корпуса и приводит к необходимости увеличения размера шариковых выводов для обеспечения надежности паяных соединений устанавливаемого компонента.

4.6.1.5 Подложки из гибких (неармированных) пленок В последнее время гибкие пленки становятся обычным материалом для изготовления подложек корпусов BGA. Наибольшее распространение получили пленочные подложки из полиимида. Полиимид обладает рядом привлекательных свойств, которые обуславливают его выбор для изготовления BGA. Среди положительных качеств полиимидных пленок можно отметить очень высокую предельно допустимую температуру (~250°C) и сравнительно низкую диэлектрическую проницаемость (~3,5 против ~4,5 у FR-4 и ~10,0 у керамики). Кроме того, пленки обладают малой толщиной, и из них легко изготавливать схемы с малыми размерами элементов, которые необходимы для изготовления компонентов с высокой степенью интеграции.

К отрицательным свойствам гибких и неармированных материалов можно отнести слабую стабильность их геометрических размеров.

Армирование пленок позволяет улучшить коэффициент теплового расширения по осям X и Y. Именно вдоль этих осей в паяных соединениях после установки компонента на плату возникают напряжения, вызванные тепловым расширением материала. Кроме того, полиимидная пленка обычно стоит намного дороже, чем любой из органических армированных материалов подложек, и достаточно гигроскопична. С другой стороны, благодаря своей гибкости полиимидные пленки больше поглощают механические напряжения, чем передают их.

4.6.2 Свойства материалов подложек Хотя существует и может быть измерено множество параметров материалов, применяющихся для изготовления подложек, только некоторые из них заметно влияют на характеристики компонентов BGA.

4.6.2.1 Коэффициент теплового расширения (КТР) Коэффициент теплового расширения – очень важная физическая характеристика подложки BGA. КТР определяет величину расширения материала при увеличении температуры. Его важность усиливается, если существует большая разница между значениями коэффициентов корпуса BGA и печатной платы, на которую установлен корпус. Если разность коэффициентов велика, в шариковых выводах может возникать избыточное механическое напряжение, которое может привести к общему снижению надежности узла.

4.6.2.2 Температура стеклования (Tg) Температура стеклования – это температура, при которой смолистая составляющая подложки начинает размягчаться и терять прочность. При достижении этого значения смола начинает расширяться в большей степени (т.е. увеличивается CTE материала) в основном, по оси Z, т.к. CTE на плоскости определяется стекловолокном.

4.6.2.3 Модуль изгиба Модуль изгиба является важным параметром, определяющим жесткость подложки. Воздействие на корпус BGA обычно проявляется в виде его деформации. В свою очередь, если деформация окажется чрезмерной, это может значительно уменьшить выход годных печатных узлов после сборки.

4.6.2.4 Диэлектрические характеристики Существует несколько параметров, определяющих диэлектрические характеристики материала. В их состав входят диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, напряжение пробоя и сопротивление изоляции. Важность учета этих параметров увеличивается с ростом тактовой частоты электронных систем до 400 МГц и выше, так как на этих частотах скорость распространения сигнала и помехоустойчивость становятся важнейшими факторами. Высокая скорость важна, прежде всего, для микропроцессоров. Тактовая частота соединяющей шины обычно несколько ниже, в районе 100 МГц.

Необходимость улучшения диэлектрических характеристик материалов станет более очевидной при использовании компонентов из стеклотекстолита FR-4, работающих на частотах от 200 до 300 МГц. По мере увеличения частоты необходимо уменьшать диэлектрическую проницаемость и тангенс угла потерь применяемого диэлектрика.

Для получения надежных решений можно применять более новые и качественные материалы. Например, цианат-эфир обеспечивает скорость передачи сигнала от 114 по сравнению со 100 см/нс для обычного стеклотекстолита FR-4. При выборе современных технологий следует рассматривать материалы с меньшими диэлектрической проницаемостью (Dk) и тангенсом угла потерь (Df).

Преимущества материалов с низкой диэлектрической проницаемостью (Dk):

- Больше скорость передачи сигнала.
- Более тонкие связи при той же геометрии проводников.

Преимущества материалов с низким тангенсом угла диэлектрических потерь (Df):

- Большая помехоустойчивость сигнала на высоких частотах.
- Меньше потери сигнала на высоких частотах.

В таблице 4-9 приведены различные характеристики некоторых материалов, используемых для изготовления подложек корпусов BGA.

4.6.2.5 Влагопоглощение Поглощение влаги материалами, используемыми для изготовления BGA, является серьезной проблемой. Идеальный материал совершенно не поглощает влагу. Проблема заключается в том, что при изготовлении компонента влага может попасть в слоистую подложку. Во время установки компонента на плату поглощенная влага может увеличиться в объеме и мгновенно испариться, вызвав локальные отслоения подложки, которые приведут к снижению надежности корпуса.

4.6.2.6 Требования к плоскостности подложки Во избежание деформации и изгиба компонентов после установки на плату необходимо соблюдать требование плоскостности подложки BGA. Это условие может затруднить проверку и установку компонентов. В процессе сборки компонента влияние нарушения плоскостности снижается после установки кристалла, особенно, если размер кристалла близок к размеру корпуса. Рекомендуется, чтобы отклонение от плоскости при изготовлении корпусов BGA не превышало 0,3%.

4.7 Проектирование корпусов BGA В дополнение к правилам проектирования кристаллов разработчик должен разбираться в тепловых и электрических характеристиках. Разработчики корпусов BGA также должны учитывать факторы технологичности: изготовление подложки, первый и второй уровень выхода годных сборок, а также надежность готового компонента.

4.7.1 Слои питания и заземления Схемы подачи питания и заземления внутри корпуса должны планироваться заранее. В некоторых высокоскоростных устройствах для подачи питания и заземления требуются целые уровни схемы. В линиях связи с согласованным сопротивлением также используются отдельные слои заземления и питания. Кроме того, малошумное заземление необходимо отделять от зашумленного заземления (участков схемы, где происходят частые переключения). В некоторых устройствах применяются несколько источников питания с различным напряжением в каждой части кристалла. Эти слои должны быть равномерно распределены по подложке, чтобы минимизировать деформацию компонента.

В устройствах, требующих отдельного слоя питания и заземления, подложка должна состоять как минимум из четырех слоев. Четырехслойные подложки также характеризуются меньшим тепловым сопротивлением и большей рассеиваемой мощностью по сравнению с двухслойными корпусами.

Таблица 4-9 Типичные свойства обычных диэлектрических материалов, используемых для подложек BGA

Свойство	Материал			
	Высококачественный эпоксид	Бисмалеимид триазин / эпоксид	Полиимид	Цианат эфир
Диэлектрическая проницаемость (смола без примесей)	3.4	2.9	3.5-3.7	2.8
Электрическая прочность (x 103 (В/мм) [x 106 В/дюйм]	70.9 [1.8]	47.2 [1.2]	70.9 [1.8]	65.0 [1.65]
Объемное сопротивление (x 106 D-см)	4.9	4.0	2.1	1.0
Влагопоглощение (wt%)	0.3	1.3	1.3	0.8
Тангенс угла диэлектрических потерь	0.012	0.015	0.01	0.004

Примечание: см. также таблицу 5-1

В термически усовершенствованных компонентах BGA с медным радиатором в корпусе в качестве заземления обычно используется этот радиатор. После соединения проводников заземления через межслойные перемычки с радиатором, он становится активной токопроводящей пластиной.

4.7.2 Помехоустойчивость сигнала Существует три основных фактора конструкции корпуса BGA, влияющих на помехоустойчивость сигнала.

1. Отражения сигнала вследствие непостоянства характеристик импеданса линий передачи.

2. Перекрестные помехи, вызванные взаимными наводками между активной и неактивной линиями.

3. Помехи переключения, вызванные одновременным переключением нескольких выходных сигналов, известные как ΔI -шумы или SSO -шумы. Для выходов, в которых возможно одновременное переключение сигналов (выходы SSO), необходимо применять проводники питания с пониженной эффективной индуктивностью (L_{eff}):

$$\Delta I \text{ шума} = L_{eff}\, di/dt \text{ (в милливольтах)}$$

Эффективная индуктивность в корпусе BGA зависит от количества и расположения выводов питания и заземления относительно контактных площадок питания и заземления на кристалле. При помощи рационального распределения выводов питания и заземления, а также других существующих средств увеличения помехоустойчивости сигнала, индуктивность Leff и шумы ΔI можно свести к минимуму.

4.7.3 Установка радиатора внутри корпуса

Теплоотвод устанавливается внутрь корпуса, если мощность, рассеиваемая микросхемой, превышает допустимый уровень, на который рассчитана подложка. Вследствие пониженной функциональной проводимости некоторых слоистых материалов, большая часть тепла, генерируемого интегральной схемой, переносится через медные проводники, металлизированные переходные межслойные отверстия и шариковые выводы. Радиатор представляет собой медную пластину, устанавливаемую под кристалл. Важно, чтобы конструкция корпуса была термически сбалансированной, чтобы избежать избыточной деформации при изменении температуры. В керамических корпусах BGA отвод тепла можно организовать путем замены керамического материала на основе оксида алюминия (с низкой теплопроводностью) на материал на основе меди и вольфрама (с высокой теплопроводностью), коэффициент теплового расширения которого равен коэффициенту теплового расширения подложек из оксида алюминия.

4.8 Критерии приемки и упаковка корпусов BGA Существует несколько факторов, влияющих на приемку корпусов BGA. В их состав входит такая стратегия управления процессом во время производства и проверочных испытаний, в которой используется план выборочного контроля несоответствия.

Основные параметры, проверяемые во время приемки::

• Пропущенные шарики (4.8.1)

• Пустоты в шариковых выводах (4.8.2)

• Качество присоединения шариковых выводов (4.8.3)

• Компланарность шариков (4.8.4, Компланарность корпуса)

• Чувствительность к влажности (4.8.5)

• Упаковка компонентов (4.8.6)

• Сплавы, используемые при изготовлении шариковых выводов (содержащие / не содержащие свинец) (4.8.7)

• Размер и форма шарика

• Плоскостность / изогнутость корпуса.

• Наличие загрязнений.

• CSAM (сканирующая акустическая микроскопия в С-режиме) для обнаружения расслоений.

4.8.1 Пропущенные шарики Наличие пропущенных или поврежденных шариковых выводов на поставляемых компонентах BGA недопустимо. На рисунке 4-19 приведена фотография корпуса BGA с пропущенными шариковыми выводами.

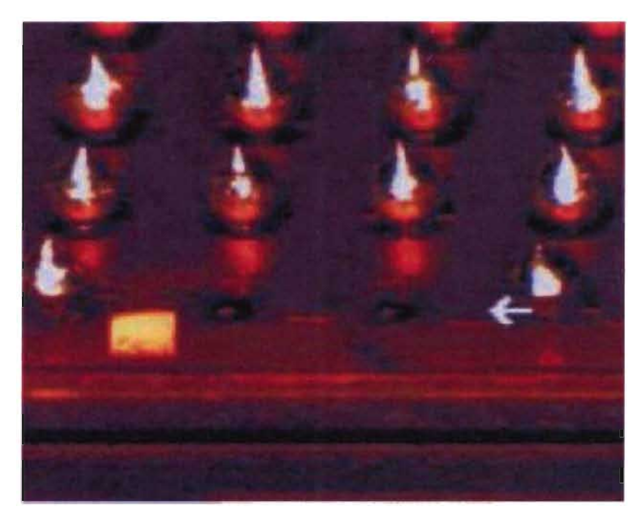


Рисунок 4-19 Пример пропуска шариков на компоненте BGA

4.8.2 Пустоты в шариковых выводах Наличие пустот в шариковых выводах должно учитываться в критерии входного контроля или в критерии приемки платы после установки компонентов. Факт обнаружения пустот в шариковых выводах до сборки либо после нее имеет принципиальное значение.

Типичные пустоты, показанные на рисунке 4-20, могут как исчезать, так и оставаться при установке компонента на плату. Обнаружение пустот в шариковых выводах при входном контроле указывает на уменьшенный объем припоя в шариках. Впоследствии это приведет к уменьшению высоты зазора при оседании шарикового вывода, что повлечет за собой снижение надежности.

Пустоты, выявленные в ходе контроля после сборки, могут понизить надежность паяного соединения вследствие уменьшения площади сечения припоя и/или площади поверхностного контакта между промежуточной платой и платой изделия. Необходимо установить допустимый уровень пустот, чтобы изделие соответствовало требованиям заказчика, имело продолжительный срок эксплуатации и соответствовало требованиям надежности.

Критерии контроля пустот в шариковых выводах после сборки печатного узла описаны в разделе 7.5.1.

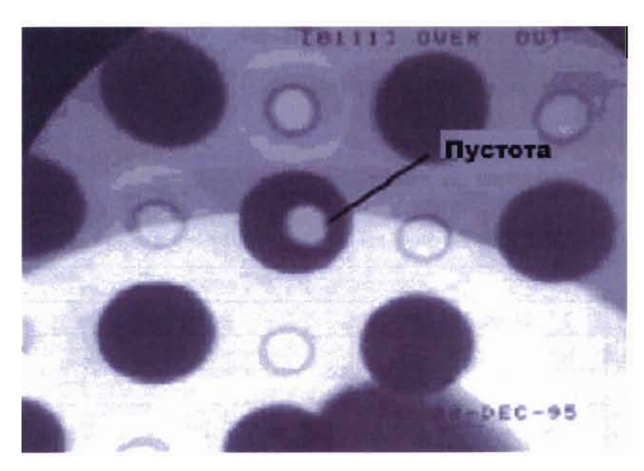


Рисунок 4-20 Пример пустот в шариковых выводах из эвтектического сплава, обнаруженных при входном контроле

4.8.3 Качество присоединения шариковых выводов Качество присоединения шариковых выводов является одним из факторов, определяющих успешность применения компонентов BGA. Шариковые выводы должны присоединяться с соблюдением допусков размеров. Высота и ширина выводов после присоединения должны попадать в установленные и /или допустимые пределы. Главной задачей присоединения является формирование надежной металлургической связи с контактными площадками подложки. Для всех шариковых выводов необходимо соблюдать профиль температур, гарантирующий требуемое смачивание для обеспечения оптимального соединения. Если место соединения не смачивается (имеет место холодная пайка), то не обеспечивается достаточно надежный электрический и механический контакт. В этом случае во время транспортировки или манипуляций с компонентом шарик может выпасть; может происходить постоянное или периодическое нарушение контакта во время электрического тестирования. На рисунке 4-21 показаны поверхности шарика и контактной площадки, которые не были достаточно смочены для образования надежного металлургического соединения. На левом рисунке показана уплощенная нижняя поверхность шарика, на второй – контактная площадка FBGA, к которой должен был быть присоединен шарик. Температура пайки оказалась недостаточной для расплавления припоя и смачивания контактной площадки, без чего невозможно качественное соединение. Под воздействием небольшого усилия шарик оторвался от площадки, поскольку удерживался только за счет механической адгезии.

Качество присоединения шариковых выводов оценивается при помощи испытания на срез. Для этой цели можно использовать специальные ручные и автоматические устройства для среза и регистрации срезающего усилия. Для испытаний на сдвиг имеет значение не величина срезающего усилия, а характер разрушения. Хрупкая поверхность излома является отчетливым признаком недостаточного смачивания. Разрушение границы пайки, сопровождающееся отрывом луженых контактов от композитного материала BGA или площадок на печатной плате свидетельствует в пользу хорошего смачивания. В качественном соединении в месте контакта не должно быть несмоченных припоем областей.

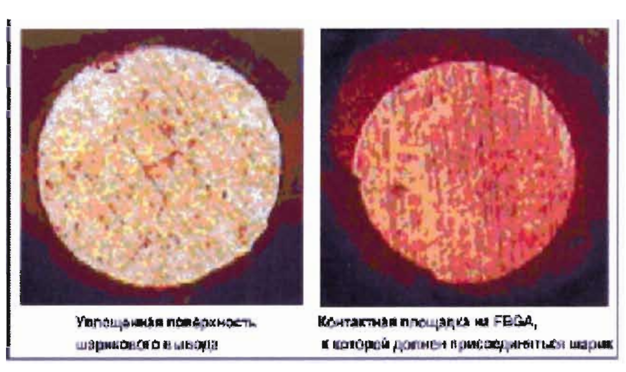


Рисунок 4-21 Пример состояния поверхностей шарикового вывода и контактной площадки

4.8.4 Компланарность корпуса Компланарность корпуса определяется сочетанием следующих факторов:

1. Толщина корпуса, шаг выводов и температурные требования.
2. Конструкция подложки, используемый материал и процесс изготовления.
3. Количество кристаллов (кремний) – размер и толщина.
4. Количество пассивных элементов – размер и толщина.
5. Материалы сборки и процессы изготовления.

Компланарность, которая в настоящее время определяется при комнатной температуре, не всегда гарантирует правильное формирование соединений компонента при поверхностном монтаже. Характер поведения корпуса при оплавлении (динамическая деформация) может определять качество контакта с припоем независимо от компланарности при комнатной температуре. Динамическая деформация корпуса зависит от его коэффициента теплового расширения (размера корпуса, размера кристалла, материала корпуса). Признаки динамической деформации могут быть охарактеризованы по методу интерференционных искажений и должны соответствовать спецификации деформаций при оплавлении.

Окончательное значение компланарности корпуса является очень сложной комбинацией этих факторов. В большой степени (~70%) компланарность зависит от факторов 1 и 2. Максимальный допуск на компланарность корпуса во время установки на плату зависит от типа шариковых выводов. Наиболее часто применяются эвтектические осаживающиеся шариковые выводы, поскольку они могут компенсировать значительные отклонения от компланарности.

В руководстве по проектированию JEDEC определяется максимальный диаметр шарикового вывода (b), измеренный в плоскости, параллельной плоскости установки – базовая плоскость C. На чертеже, приведенном на рисунке 4-22, показаны предельно допустимое отклонение от компланарности (ccc) и предельно допустимое отклонение от параллельности между верхней поверхностью корпуса (bbb) и плоскостью установки (плоскость C).

Высота компонента измеряется от верхней поверхности корпуса до плоскости установки (где шариковый вывод касается поверхности контактной площадки ПП). Важно, чтобы верхняя поверхность корпуса оставалась параллельной плоскости платы во время контроля, осмотра и установки компонента. Двусторонняя зона допуска (bbb) служит для

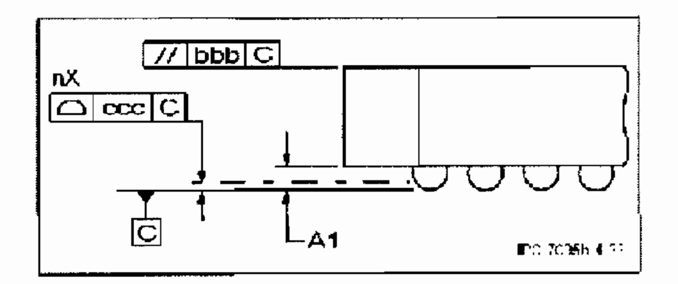


Рисунок 4-22 Требование компланарности корпуса BGA

оценки параллельности верхней поверхности корпуса относительно плоскости установки С.

4.8.4.1 Пример расчета компланарности компонента FBGA

Допустимые пределы компланарности немного меняются с увеличением диаметра шарика. Далее приведены значения компланарности (ccc) в зависимости от размера шарика:

шарик 0,30 мм = 0,08 мм (ccc),

шарик 0,40 мм = 0,10 мм (ccc),

шарик 0,50 мм = 0,12 мм (ccc)

Одностороннее поле допуска (ccc) располагается вверх от плоскости установки. Низшая точка шарикового вывода должна находиться внутри поля допуска. Каждый шарик имеет поле допуска, связанное с диаметром «b» и расположенным в номинальном положении относительно плоскостей А и В и перпендикулярно плоскости С. Центр каждого шарика должен находиться внутри поля допуска. Допуск размещения шарикового вывода определяется относительно плоскостей корпуса А, В и С, как показано на рисунке 4-23.

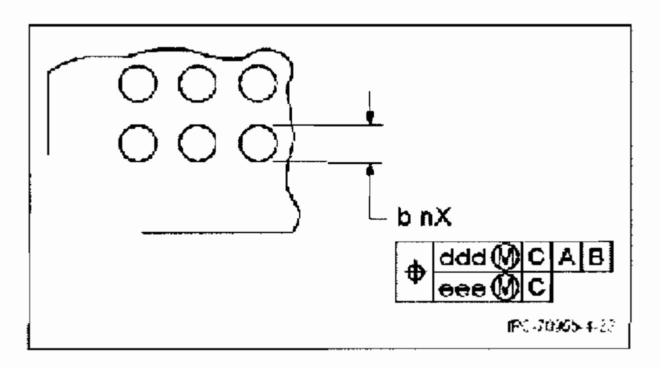


Рисунок 4-23 Допуск положения шарикового вывода

Массив полей допусков, связанный с диаметром шариков (b), расположенных с шагом (е), определяет положение шариков. Руководство по проектированию допускает смещение массива по отношению к полю допуска «ddd», однако центры шариков должны одновременно находиться внутри обоих полей допуска. За более подробной информацией по измерению корпусов BGA обратитесь к документации JEDEC JEP95, раздел 4.17. (BGA Package Measuring and Methodology (Размеры и методология измерения корпусов BGA)).

4.8.5 Чувствительность к влажности (сушка, хранение, установка, повторная сушка) Требования чувствительности к влажности определяются в спецификациях J-STD-020 и J-STD-033. В J-STD-033 содержится информация по обращению с компонентами, чувствительными к влажности. Все компоненты разделены на 8 уровней, перечисленных в таблице 4-10.

Уровни определяют продолжительность нахождения компонента в производственном помещении вне герметичной упаковки. Если компоненты находятся под воздействием атмосферы дольше определенного для них времени, то перед использованием их необходимо повторно просушить, чтобы удалить избыточную поглощенную влагу.

Таблица 4-10 Уровень чувствительности к влажности и период хранения без упаковки

Уровень	Период хранения (без упаковки) при температуре 30°C и относительной влажности 60%
1	Не ограничен при температуре 30°C и относ. влажности 85%
2	1 год
2a	4 недели
3	168 часа
4	72 часа
5	48 часа
5a	24 часа
6	Необходима сушка перед использованием. После сушки необходимо произвести пайку в течение периода времени, указанного на этикетке.

Многие компоненты BGA являются чувствительными к влажности; особое внимание необходимо обращать на корпуса TBGA и PBGA, выполненные по технологии flip chip. Керамические компоненты BGA/CGA обычно не чувствительны к влажности. Рекомендуется, чтобы компоненты BGA соответствовали хотя бы уровню 3. Компоненты уровня 5 и 6 особенно нежелательны с точки зрения производства, т.к. они требуют специальных производственных помещений и мероприятий по контролю обращения с компонентами. Для применения компонентов уровня 6 требуется наличие сушильной печи. Сушка проводится от 4 до 48 часов при температуре 125°C или от 5 до 68 дней при температуре 40°C в зависимости от толщины и размера корпуса. Чтобы удалить влагу из компонентов BGA, необходимо выполнить рекомендуемый цикл сушки.

Следует учитывать, что необходимые для бессвинцовых припоев повышенные температуры пайки могут потребовать выполнения более жесткого цикла сушки для удаления влаги. Однако стандарт J-STD-020 устанавливает требование по уменьшению промежутка времени, в течение которого корпус может впитывать влагу.

4.8.6 Упаковка компонентов (блистерная лента на катушке, поддоны, пеналы)

Как и все компоненты для поверхностного монтажа, компоненты BGA необходимо упаковывать в антистатическую упаковку, отвечающую требованиям соответствующих стандартов и спецификаций. Компоненты BGA должны поставляться в разрешенных стандартами JEDEC поддонах, способных выдерживать несколько циклов сушки, т.к. многие корпуса BGA чувствительны к влаге. Требуемые температура и продолжительность сушки для компонентов различных классов чувствительности к влажности приведены в разделе 4.8.5.

Для ускорения процесса установки на платы большого количества ИС (например, микросхем SRAM и DRAM) может оказаться предпочтительным приобретать такие устройства в блистерной ленте.

Однако для некоторых типов корпусов использование ленты может быть неприемлемым из-за размеров компонентов и их чувствительности к влажности. Существуют ленты шириной до 56 мм; заправочный конец ленты должен иметь длину не менее 200 мм. Во время проведения сушки компонентов на блистерной ленте необходимо соблюдать

осторожность, т.к. предельно допустимая температура для такой упаковки обычно ниже, чем для матричных поддонов.

4.8.7 Сплав для изготовления шариковых выводов

Производители компонентов должны определить метод, характеризующий металлургические характеристики припоя для изготовления шариковых выводов BGA, сопровождаемый изменением номера детали. В стандарте J-STD-609 приводится соответствующий метод идентификации сплава для шариков BGA. При необходимости проверить используемый в BGA сплав пользователи могут воспользоваться методами контроля, в частности, рентгенографическими.

5 ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ МОНТАЖНЫЕ ОСНОВАНИЯ

Печатные платы и другие коммутационные платформы аналогичного типа служат в качестве монтажных оснований для BGA и других компонентов. Существует большое разнообразие монтажных оснований, используемых для выполнения необходимых для монтажа BGA соединений при сборке электронных узлов. В составе этих подложек используются разнообразные материалы, как органические, так и неорганические; поэтому неудивительно, что они обладают широким диапазоном физических свойств. Выбор материалов обычно осуществляется по требуемому соотношению стоимости и производительности готового изделия.

5.1 Типы монтажных оснований Ниже рассмотрены некоторые наиболее распространенные материалы, использующиеся в качестве основы для производства электронных схем.

5.1.1 Системы на основе органических смол Платы из органических материалов наиболее часто используются для создания электронных схем. Во всем мире существует развитая производственная база для такой продукции. В результате развития производственной базы этот тип плат характеризуется наименьшей стоимостью по сравнению с конкурирующими технологиями. Органическим материалам изначально присущи хорошие электрические параметры. Наиболее примечательным является относительно низкая диэлектрическая проницаемость, среднее значение которой можно сделать намного ниже правильным выбором смол и армированием. Органические подложки обычно армируются соответствующим материалом, например, стеклотканью; однако, для гибких печатных схем армирование не применяется.

5.1.2 Неорганические структуры Платы из неорганических материалов являются альтернативой платам из органики. Они обладают рядом полезных качеств, которых сложно достичь при использовании органических материалов.

Основным преимуществом являются превосходные тепловые характеристики. Как и в случае органических подложек, существует несколько возможных для использования неорганических материалов, таких как керамика, кремний и эмалированные металлы. Диэлектрические свойства таких материалов обычно лучше, чем органических, и они, как правило, более хрупкие. Наконец, из-за меньшего числа производителей такие платы часто имеют большую стоимость.

5.1.3 Многослойные платы (многослойные, последовательного изготовления и послойного наращивания)

Наряду с широким использованием структур с одинарным и двойным слоем металлизации, при монтаже компонентов BGA в современных высокоэффективных электронных приборах повсеместно применяются многослойные коммутационные основания. Существует несколько способов создания таких конструкций. Традиционные многослойные платы изготавливаются путем печати и протравливания дорожек в тонком покрытии из медной фольги; после чего отдельные слои спрессовываются в монолитную структуру, в которой сверлятся и металлизируются отверстия для соединения слоев в нужных местах.

В последнее время разработаны альтернативные технологии производства плат, ставящие целью решение проблем разводки проводников для корпусов BGA. Эти технологии включают в себя новые способы создания печатных плат, называемые в разных источниках технологией послойного наращивания, последовательного изготовления слоев и совместного прессования. Главной отличительной особенностью таких плат является использование очень малых межслойных переходов, или, как они чаще называются, микропереходов. Типичный микропереход имеет диаметр менее 150 мкм и состоит из входной контактной площадки (начало микроперехода) и конечной площадки меньшего размера (окончание микроперехода). На рисунке 5-1 показано несколько примеров исполнения печатных плат с высокой плотностью соединений (HDI, см. IPC-2226).

5.2 Характеристики монтажных оснований

5.2.1 Материалы на основе смол Имеется множество систем на основе смол, пригодных для создания органических слоистых материалов. Традиционные материалы на основе смол имеют долгую и хорошо изученную историю их многолетнего успешного применения. Однако, для поддержки законодательных инициатив ЕС, связанных с ограничением использования свинца, разрабатываются новые виды смол, отвечающих требованиям сборочных процессов пайки при повышенных температурах. Для количественной оценки соответствия свойств материалов новым требованиям ЕС разработаны методы испытаний, в частности, Td (температура разложения) и T260, T288, T300 (время до расслоения). Некоторые из новых систем на основе смол включены в новые таблицы взаимозаменяемости материалов, в частности IPC-4101 /99, /101, /121, /124, /126 и /129.

5.2.1.1 Эпоксидная смола Существует несколько различных материалов на основе смол, которые можно использовать для создания печатных плат. Одним из наиболее часто используемых материалов является эпоксидная смола. Она обладает хорошим сочетанием физических, электрических и технологических характеристик при разумной цене. Основные свойства материалов приведены в таблице 5-1. Разработаны и поставляются (по более высокой цене) эпоксидные материалы для бессвинцовой технологии, обладающие улучшенными тепловыми характеристиками.

5.2.1.2 Полиимиды Полиимиды обладают максимальной рабочей температурой среди материалов на основе смол, используемых на сегодняшний день. Они часто используются в военной промышленности, где проведение ремонтов в полевых условиях с применением нерегулируемых инструментов является наиболее вероятным. Благодаря высокой температуре стеклования полиимиды обладают запасом надежности и реальным потенциалом для снижения

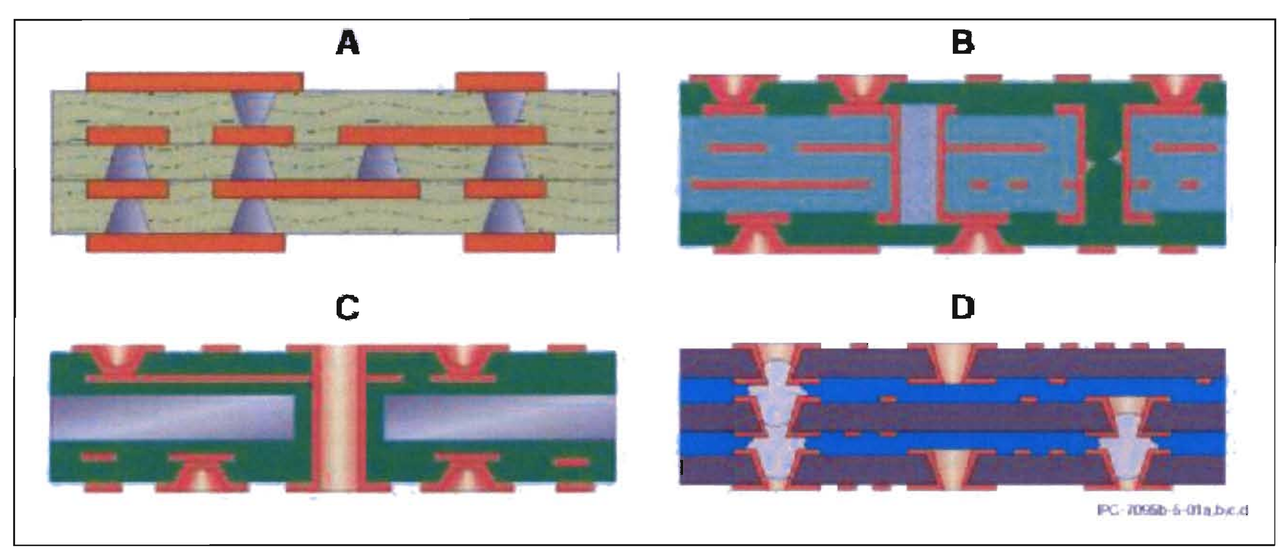


Рисунок 5-1 Примеры различных многослойных плат

A. Плата, изготовленная прессованием с последующим просверливанием отверстий - конструкция типа IV HDI
B. Плата, изготовленная путем последовательно наращивания слоев - конструкция типа II HDI
C. Пассивная основа с микропереходами во внешних слоях - конструкция типа IV HDI
D. Последовательно спрессованная плата с заполненными переходами - конструкция без внутреннего упрочняющего слоя V HDI

Таблица 5-1 Характеристики распространенных диэлектрических материалов

Характеристика	Материал					
	FR-4 (Эпоксид, стекловолокно)	Многофункциональный эпоксид	Эпоксид с улучшенн. хар-ками	Бисмалеимид триазин Эпоксид	Полиимид	Цианат эфир
Тепловое расширение в плоскости x-y (ppm/°C)	16-19	14 - 18	14-18	~15	8-18	~15
Коэффициент теплового расширения по оси z ниже T_g[1], КТР (z,<T_g) (ppm/°C)	50-85	44-80	544	-70	35-70	~81
Коэффициент теплового расширения по оси z выше T_g[1], КТР (z,>T_g) (ppm/°C)	240 - 390	240 - 390	240 - 390	TBD	TBD	TBD
Тепловое расширение по оси z , ТР (50-260°C) (%)	3.0-4.5	2.5-4.0	2.0-3.5	TBD	TBD	TBD
Температура стеклования [2], Tg (°C)	110-140	130 - 160	165 - 190	175 - 200	220 - 280	180-260
Температура разложения [3], Td (5%) (°C)	310-330	320 - 350	330 - 400	~334	~376	~376
Индекс воздействия температуры пайки [4], STII	170-205	200 - 220	215-260	TBD	TBD	TBD
Модуль изгиба (ГПа) Поперечно [5] / Продольно [6]	18.6 / 12.0	18.6 / 20.7	19.3 / 22.0	20.7 / 24.1	26.9 / 28.9	20.7 / 22.0
Предел прочности на разрыв (МПа) Поперечно [5] / Продольно [6]	413 / 482	413 / 448	413 / 524	393 / 427	482 / 551	345 / 413
Влагопоглощение (wt%)	0.5	0.1	0.3	1.3	1.3	0.8

1. КТР (z,<T_g) известен также, как Альфа 1, а КТР (z, >T_g) как Альфа 2. Конкретные значения для других материалов предоставляются поставщиками.
2. Температура стеклования может быть измерена тремя различными методами (TMA, DSC, DMA). Значение, полученное методом TMA, в наибольшей степени подходит для решения проблем надежности. Приблизительное соотношение результатов, полученных по эти трем методам, таково: T_g(TMA) »T_g(DSC) -10°C «T_g(DMA) -20°C. Конкретные значения для других материалов предоставляются поставщиками.
3. Температура разложения может измеряться для двух различных значений потери массы, Td (2%) и Td (5%). Обычно используется Td (5%), но Td (2%) приобретает популярность в связи с большей пригодностью для практических целей. Конкретные значения для других материалов предоставляются поставщиками.
4. Индекс воздействия температуры пайки определяется по формуле STII = T_g/2 + Td/2 — (TP %(от 50 до 260°C) x 10).
5. В поперечном направлении относительно текстуры ткани.
6. В продольном направлении относительно текстуры ткани.

вероятности повреждения платы, если для снятия или замены компонентов используются нерегулируемые паяльники. Основные характеристики перечислены в таблице 5-1.

5.2.1.3 Бисмалеимид триазин Бисмалеимид триазин или BT-смола – наиболее распространенный выбор для корпусов BGA, т.к. высокие температурные характеристики сочетаются с разумной ценой. Основные характеристики перечислены в таблице 5-1.

5.2.2 Армирование Армирование обеспечивает устойчивость к деформации и основные механические свойства органических ламинатов. Далее перечислены материалы, наиболее часто используемые для армирования.

5.2.2.1 Стеклоткань Стеклоткань является наиболее часто используемым материалом для армирования. Она широко распространена и легко поддается обработке. Промышленность выпускает стеклоткань различной толщины и химического состава. Для изготовления печатных плат наиболее широко используется стеклоткань Е-типа.

5.2.2.2 Стеклофетр Стеклофетр или нетканый стекломат чаще всего используется в сочетании с фторопластовыми смолами и находит применение в радиочастотных или микроволновых приборах с низкими потерями. Он встречается также в виде формуемых ламинатов, но эта технология не имеет широкого распространения.

5.2.2.3 Арамидная ткань Арамидная ткань используется для армирования некоторых ламинатов. Она обладает отрицательным коэффициентом теплового расширения по осям X и Y, что позволяет компенсировать тепловое расширение смолы по плоскости. В результате ламинаты, изготовленные из этого материала, обладают коэффициентом теплового расширения, примерно равным коэффициенту керамики. Отрицательным качеством данного материала является высокий коэффициент теплового расширения по оси Z, что может вызвать излом смолы и появление микротрещин вдоль поверхности волокон.

5.2.2.4 Арамидная бумага Поставки нетканой арамидной бумаги ограничены из-за недостаточного количества производителей. Арамидная бумага успешно используется в некоторых видах многослойных плат. Она обладает всеми преимуществами арамидной ткани при лучших технологических характеристиках. Ее часто используют для создания тонких приповерхностных внутренних слоев печатных плат для управления коэффициентом теплового расширения. Поскольку это органический материал, дополнительным его преимуществом является легкость резки при помощи лазера и создания в нем отверстий при помощи плазменного травления. Кроме того, органическая природа материала способствует поддержанию низкого уровня диэлектрической проницаемости.

5.2.3 Свойства слоистых материалов Существует ряд важнейших физических свойств материалов, которые необходимо учитывать при выборе материала для изготовления подложек BGA.

5.2.4 Проблемы надежности, связанные с высокой температурой бессвинцовой пайки Повышенные температуры, необходимые для пайки бессвинцовыми припоями, являются источником проблем надежности, обусловленных стойкостью смол в материале ПП, а также имеющихся в ней коммутационных структур, в частности, металлизированных сквозных отверстий и переходов.

Важнейшими в этом отношении свойствами являются тепловое расширение, температура стеклования и температура теплового разрушения. Тепловое расширение от 50 до 260°C, TE (50-260°C) является сочетанием значений теплового расширения ниже и выше температуры стеклования. Температурой стеклования (T_g) определяется температурный диапазон, в пределах которого молекулярная структура смолы переходит из стекловидного состояния в аморфное; физические свойства этих молекулярных структур весьма различаются. Температура теплового разружения (Td) соответствует значению, при котором смола необратимо разрушается, вследствие чего происходит потеря массы; обычно измеряется температура, при которой происходит потеря 2% или 5% массы.

Влияние этих трех свойств учитывается в индексе воздействия температуры пайки STII, который выражается в виде:

$STII = T_g/2 + Td/2$ — (TP%(50-260°C) x 10).

5.2.5 Тепловое расширение Тепловое расширение обычно характеризует степень расширения материала в плоскости x-y; для управления расширением обычно применяется армирование. Расширение в плоскости x-y оказывает наибольшее влияние на компоненты поверхностного монтажа и их надежность. Температурное расширение также возникает и вдоль оси Z в гораздо большей степени, чем в плоскости x-y, особенно при температуре свыше температуры стеклования T_g. Наибольшее влияние расширение по оси Z оказывает на надежность металлизированных отверстий и переходов.

В таблице 5-1 приведены параметры различных видов армированных материалов. Тепловое расширение измеряется в частях на миллион на градус (ppm/°C).

5.2.6 Температура стеклования Температура стеклования – это температура, при которой происходит изменение линейного характера коэффициента теплового расширения армирующего материала и смолы. Этот эффект обычно возникает при потере смолой состояния твердого полимера. Как правило, он проявляется в увеличении скорости расширения материала по оси Z. При этом линейный характер теплового расширения сохраняется (мм/мм толщины). В таблице 5-1 приведена температура стеклования для некоторых материалов. На рисунке 5-2 это явление проиллюстрировано графически, а также показан характер поведения различных смол.

Слоистые материалы, изготовленные из различных смол, имеют различные значения температуры стеклования, что в результате приводит к различию по степени стойкости при высокотемпературных применениях. Из-за повышенных температур для бессвинцовых технологических процессов требуются слоистые материалы с улучшенными характеристиками, которые, как правило, имеют более высокую стоимость.

Температура стеклования может быть измерена тремя различными методами (TMA, DSC, DMA). Значение,

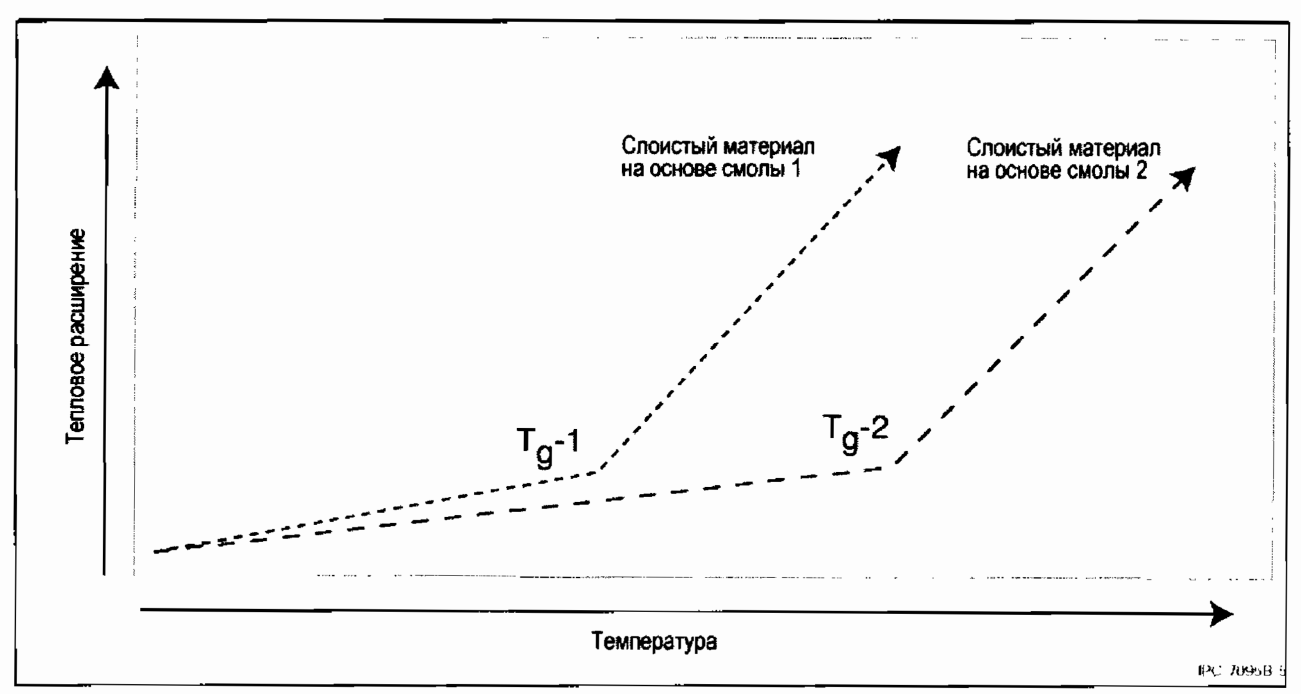


Рисунок 5-2 Тепловое расширение при температурах, превышающих T_g

полученное методом ТМА, в наибольшей степени подходит для решения проблем надежности. Приблизительное соотношение результатов, полученных по эти трем методам, таково: T_g(TMA) =T_g(DSC) -10°C =T_g(DMA) -20°C.

5.2.7 Поглощение влаги Большинство органических материалов являются гигроскопичными и могут достаточно быстро впитывать влагу. Наличие влаги можно определить по поглощению воды и изменению таких характеристик материала, как размер и масса. Самым простым признаком поглощения влаги материалом является увеличение его массы при нахождении в условиях повышенной влажности. Поэтому самым простым признаком поглощения влаги материалом является увеличение его массы при нахождении в условиях повышенной влажности. В таблице 5-1 приведены значения отношения скорости впитывания влаги к массе различных материалов, описанных в данном разделе.

5.3 Покрытие проводников платы Покрытие проводников ПП может потребоваться для выполнения любой из следующих функций: сохранение паяемости, создание проводящих поверхностей для контактов и переключателей, для разварки проволочных соединений и т.п. Хотя основное внимание в данном документе уделяется компонентам BGA, при выборе наиболее подходящей технологии покрытия следует учитывать и другие компоненты и операции сборки. Не существует единой технологии покрытия проводников, которая была бы наилучшей для всех применений.

Поскольку ни один из способов финишной обработки не является идеальным, продолжается поиск более совершенных решений в области нанесения покрытий. Несмотря на то, что уже получены удовлетворительные результаты при нанесении иммерсионных покрытий, в частности, иммерсионного серебра, требуется выполнить дополнительные испытания и накопить производственный опыт, прежде чем будут сделаны окончательные выводы относительно надежности паяных соединений BGA в связи с использованием новой технологии нанесения покрытий.

Некоторые особенности прикладных задач, которые необходимо учитывать при выборе подходящей технологии нанесения покрытий, приведены в таблице 5-2.

5.3.1 Выравнивание припоя горячим воздухом (HASL) Наиболее распространенной технологией покрытия проводников ПП является выравнивание припоя горячим воздухом (HASL). В этом процессе печатная плата погружается вертикально или горизонтально в ванну с припоем с температурой 260°C, после чего избыток припоя удаляется при помощи потока горячего воздуха, из-за чего процесс и приобрел свое наименование. В процессе HASL печатная плата впервые подвергается воздействию припоя. Некоторые сочетания материалов проявляют склонность к расслоению при многократном перегреве.

5.3.1.1 Оловянно-свинцовое покрытие HASL Хотя оловянно-свинцовое покрытие является основным финишным покрытием печатных плат, проблемой при применении процесса HASL является неоднородность толщины покрытия. Часто толщина припоя изменяется в широких пределах от 0.75 мкм до 35 мкм. Обычно считается, что меньшая толщина является неприемлемой, т.к. очень тонкий слой припоя полностью превращается в интерметаллическое соединение меди и олова, которое очень плохо поддается пайке. Однако исследования паяемости ПП с покрытием HASL и другими финишными покрытиями, показали, что по результатам визуального контроля паяемость абсолютно не связана с толщиной слоя припоя или с покрытием припоем контактных площадок при осмотре на поперечных срезах платы. Поэтому критерии приемки в отношении паяемости печатных плат должны частично или полностью основываться на функциональном контроле образцов плат.

Таблица 5-2 Основные характеристики различных покрытий проводников ПП

	HASL SnPb/SnCu *	OSP	Химически осажденный Ni /иммерсионное золочение	Электролитический Ni / гальваническое золото	Иммерсионное серебро **	Иммерсионное олово
Срок хранения при правильной обработке	1 год	6 месяцев	> 1 года	< 1 года	6 месяцев	6 месяцев
Обращение	Обычное	Избегать физического контакта	Обычное	Обычное	Избегать физического контакта	Избегать физического контакта
Топология поверхности площадок SMT	Выпуклая / гладкая	Плоская	Плоская	Плоская	Плоская	Плоская
Качество после многократных циклов оплавления при сборке	Хорошее, возрастает содержание интерметаллидов / необходим прочный ламинат	Среднее, лучше на толстых покрытиях; при оплавлении бессвинцовой пасты может обнажаться поверхность меди	Хорошее	Хорошее	Хорошее	Хорошее
Паяльные флюсы и газовая среда	Проблемы отсутствуют	Могут потребоваться более активные флюсы / атмосфера азота	Проблемы отсутствуют	Проблемы отсутствуют	Возможна несовместимость с остатками флюса	Возможна несовместимость с остатками флюса
Использование на толстых ПП	Затруднения при заполнении и очистке металлизированных отверстий	Проблема заполнения отверстий	Повышенная надежность металлизированных отверстий	Повышенная надежность металлизированных отверстий	Проблема заполнения отверстий	Проблема заполнения отверстий
Использование на тонких ПП	Нет, склонность к деформации / избегать	Да	Да	Да	Да	Да
Надежность паяного соединения	Хорошая	Хорошая	Проблема "черной площадки" в BGA; Спорадическое хрупкое разрушение	Проблемы охрупчивания золота; Спорадическое хрупкое разрушение	Проблемы планарных микропустот	Хорошая
Краевые контакты ПП	Дополнительная операция металлизации	Дополнительная операция металлизации	Дополнительная операция металлизации	Дополнительная металлизация не требуется	Дополнительная операция металлизации	Дополнительная операция металлизации
Разварка проволочных соединений	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Да
Пригодность к тестовому зондированию	Хорошая	Плохая, если при сборке не был нанесен припой	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Обнажение меди после сборки	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Переключатели / контакты	Нет	Нет	Да	Да	Да	Нет
Обработка отходов и безопасность производства ПП	Плохо / удовлетворительно	Хорошо	Удовлетворительно	Удовлетворительно	Плохо	Хорошо
Контроль процесса	Проблемы контроля толщины	Удовлетворительно	Проблемы содержания фосфора	Проблемы контроля толщины золота	Проблемы микротравления и нанесения покрытий	Проблемы "усов" олова
Толщина покрытия, мкм	0.8-0.38	0.2-0.5	3-7/0.05-0.10	0.2-0.5	0.05-0.10	1.0-1.3
Общая сравнительная стоимость	1	0.4-0.6	2.0-3.0	1.2-1.5	1.1 - 1.6	~0.8

* Для бессвинцового процесса HASL предпочтителен сплав олова и меди

** Срок хранения до оплавления >1 года при упаковке во влагозащитные мембранные пакеты (MMB)

Большой разброс толщины припоя, получаемого после покрытия по технологии HASL, также влияет на компланарность плат и компонентов. Кроме того, неровность поверхности усложняет нанесение паяльной пасты из-за сложности обеспечения требуемого прилегания трафарета при печати. Отсутствие должного уплотнения приводит к утечке пасты под трафарет, что означает необходимость последующих многократных очисток трафарета (снижение производительности процесса) или повышение вероятность образования перемычек (снижение выхода годных изделий).

Технологию HASL нельзя использовать для изготовления, например, широко используемых плат расширения PCMCIA (международная ассоциация производителей плат для персональных компьютеров) толщиной менее 0,5 мм из-за их коробления при обработке.

5.3.1.2 Бессвинцовый процесс HASL Бессвинцовый процесс выравнивания припоя горячим воздухом позволяет выполнить качественную и надежную обработку поверхности, обеспечивая сохранение способности к пайке при длительном хранении. Как и большинство бессвинцовых технологий, бессвинцовый процесс находится на ранней стадии внедрения.

Обработка HASL дает реальную гарантию паяемости, потому что в процессе создается одна из сторон паяного соединения путем полного смачивания припоем медной подложки. Качество изделия относительно паяемости легко проверить при помощи испытаний погружением, подвергая процессу старения или просто путем визуального осмотра. Любое проявление несмачивания или десмачивания становится очевидным сразу же после пайки.

Использование припоя для финишного покрытия поверхности обеспечивает паяемость в течение длительного срока хранения. Паяемость утрачивается только в случае прорастания интерметаллических соединений до поверхности. Благодаря этому тщательно нанесенное покрытие при правильном хранении может сохраняться более года. Кроме того, паяемость покрытия сохраняется после нескольких циклов полимеризации клея или оплавления паяльной пасты.

Наиболее вероятными кандидатами для использования в бессвинцовом HASL являются эвтектический сплав Sn-Cu (точка плавления 227°C) или эвтектика Sn-Ag-Cu (точка плавления 217°C). Преимуществом сплава Sn-Ag-Cu является более низкая температура плавления; с другой стороны, преимуществами системы олово-медь является доступность сырья и более низкая стоимость. Ванну припоя Sn-Cu проще контролировать и использовать повторно, поскольку в ней имеются всего два компонента. Ванна припоя характеризуется невысокой агрессивностью, низким расходом меди и относительной стойкостью к обычным примесям.

Достаточно низкая точка плавления позволяет работать с большинством типов оборудования и компонентов и, в сочетании с новыми свойствами современных слоистых материалов, обеспечивает совместимость технологических процессов производства и обработки печатных плат. Для тонкой настройки процесса поставщики припоя для ванн добавляют патентованный стабилизирующий компонент – HASL, который, как выяснилось, представляет собой Sn-0.7Cu. Типичным сплавом, разработанным для бессвинцовой пайки, является SnCuNi с температурой плавления 227°C и рабочей температурой для пайки от 250°C до 260°C (от 482°F до 500°F). Растворимость меди может стать проблемой при ее содержании в ванне более 0.85%, вследствие чего возрастает вероятность образования мостиков, "сосулек" и других дефектов. Диапазон температур для Sn-0.7Cu+Ni составляет 227-265°C (отклонение 38°C) по сравнению с диапазоном для Sn63Pb37, 183-250°C (отклонение 67°C).

Все сплавы с высоким содержанием олова дороже заменяемых ими оловянно-свинцовых сплавов, потому что дешевый материал (свинец) заменяется материалами с высокой стоимостью - оловом и серебром. Некоторой компенсацией стоимости является то, что вследствие пониженной плотности высокооловянистые сплавы имеют на 12% больший объем при одинаковом весе. Кроме того, преимуществом стабилизированного Sn-0.7Cu является отсутствие в нем дорогостоящего серебра, а также пониженная склонность к образованию окалины по сравнению с другими бессвинцовыми и оловянно-свинцовыми сплавами. Содержанием меди в составе Sn-0.7Cu можно управлять без необходимости отправлять в металлолом содержимое ванны с припоем полностью или частично.

Сплав Sn-0.7Cu + стабилизатор HASL являются разумной альтернативой для областей применения, требующих бессвинцовой технологии. Процесс может выполняться при амплитудах температур, который новые ламинаты, резисты и другие покрытия (например, углеродная паста) могут выдерживать, не претерпевая значительной деградации и неприемлемой деформации (изгиба и кручения). Проблемы для очень тонких плат сохраняются - они требуют специальных креплений, которые одинаковы для любого процесса HASL.

Финишное покрытие обладает хорошей паяемостью, которая сохраняется в широком интервале температур и при длительном хранении. Покрытие выглядит гладким, блестящим и менее выпуклым, чем заменяемое им оловянно-свинцовое (см. рисунок 5-3). Стабильность состава припойной ванны поддерживается при помощи подпиточного сплава с низким содержанием меди при низких потерях на образование окалины. Самым важным является отсутствие агрессивного воздействия сплава на материалы ванны для припоя.

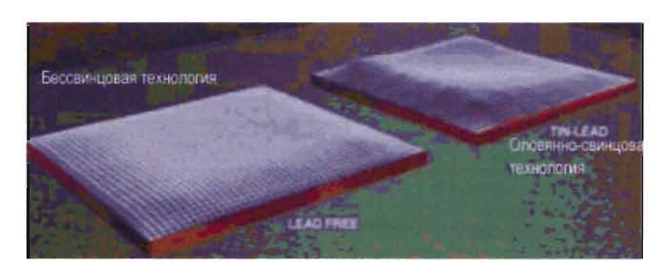


Рисунок 5-3 Сравнение топологии поверхностей, обработанных по методу HASL

В случаях использования больших плат (>250 x 250 мм) с крупными корпусами BGA (>25 x 25 мм) целесообразно увеличить толщину печатной платы до 2 мм, чтобы свести к минимуму изгиб и желобление платы. Это поможет уменьшить или полностью исключить отказы из-за механических напряжений, причиной возникновения которых является деформация ПП. Однако, с переходом на бессвинцовую технологию, платы увеличенной толщины должны будут дольше находиться под воздействием повышенной температуры, что потребует усиленного внимания к вопросам обеспечения надежности.

5.3.2 Защита органическим покрытием (Organic Solderability Preservative - OSP) С ростом масштабов применения технологии BGA и устройств со все уменьшающимся шагом выводов возрастает необходимость получения как можно более плоского финишного покрытия. В связи с этим, в качестве альтернативы процессу HASL, который может вызывать коробление, расширяется применение защитных материалов для покрытий вообще и органических материалов (OSP), в частности. OSP – это покрытие из органического компаунда (на основе бензимидазола), наносимое поверх медной поверхности для защиты ее от окисления. Это органический компаунд на водной основе, который при нанесении на медную поверхность создает металлоорганический слой, защищающий медь. Возможно применение OSP различного химического состава. Некоторые из них – бензотриазол, имидазол и бензимидазол. Они предназначены для сохранения паяемости медных проводников, защищая их от окисления. Защитный слой обычно наносится погружением в ванну с органическим материалом или путем его распыления. Любой метод является эффективным при условии контроля толщины защитного слоя. Толщина слоя может быть сверхмалой (0.01 мкм) или сравнительно большой, от 0,2 до 0,5 мкм (примечание: 25 мкм составляет 1 мил, или 0.001 дюйма). Толстый защитный слой более предпочтителен, особенно при необходимости выполнить несколько циклов пайки, а время выдержки между пайками каждой стороны измеряется в днях. Следует отметить, что не все покрытия OSP одинаковы, поскольку имеются специально разработанные OSP, выдерживающие повышенную температуру оплавления, связанную с использованием бессвинцовых технологий.

Покрытие OSP обладает множеством преимуществ. Наиболее важным из них является отсутствие основной проблемы оловянно-свинцовой технологии HASL – поверхность платы остается плоской. Кроме того, оно не содержит свинец и удовлетворяет требованиям законодательства ЕС. Обеспечивая хорошее прилегание, OSP позволяет уменьшить количество дефектов, связанных с нанесением паяльной пасты, и поэтому обеспечивает меньший процент брака.

Поскольку поверхность, на которую нанесено органическое покрытие, выглядит практически как медь (покрытие OSP прозрачное), пробелы нанесения пасты легко распознать из-за разницы цветов. Если для смыва неправильно нанесенной паяльной пасты используется спирт, он также смывает и защитное покрытие, поэтому увеличивается риск окисления меди. Однако, при необходимости защитный слой можно нанести на плату повторно. Не рекомендуется выполнять промывку и протирку плат; вместо этого можно воспользоваться рекомендациями IPC-7526 для обработки трафаретов и плат с ошибками нанесения. Инженеры-технологи должны работать в тесном контакте с поставщиками химических средств для отладки процесса очистки, в котором полностью удаляется невысохшая паста при минимальном повреждении поверхности OSP.

Существуют процессы, не совместимые с покрытием OSP. Например, если паста или флюс не покрывает всей поверхности контактной площадки во время пайки, возможно недостаточное заполнение отверстий во время пайки волной припоя и образование непокрытых припоем участков (на кромках и в углах контактных площадок). Вот почему важно, чтобы флюс попал в сквозное отверстие во время пайки волной припоя для образования галтели сверху. В процессе трафаретной печати паста должна полностью покрывать поверхность контактной площадки, чтобы избежать образования несмоченных припоем участков на ее краях.

Однако такие дефекты являются только косметическими и паяные соединения получаются вполне надежными (в некоторых исследованиях было показано, что прочность на отрыв соединений OSP выше, чем соединений ENIG); желательно проводить обработку надлежащим образом во избежание возможных затруднений.

Имеются и другие сложности, связанные с применением OSP. Например, следует учитывать возможную несовместимость органического покрытия с флюсами no-clean (флюсы, не требующие отмывки) и растворителями на основе терпена, проблемы сохранения свойств паяемости проводников при выполнении нескольких температурных циклов во время пайки оплавлением, волной и вручную, а также при электрическом тестировании платы с помощью адаптера с иглами, которые могут проколоть покрытие, понижая тем самым долговременную способность к пайке в контрольных точках. Кроме того, на внутрисхемное тестирование может отрицательно повлиять сложность обеспечения контакта зонда с голой медью, поэтому на контрольные площадки необходимо наносить паяльную пасту; наличие шарика припоя значительно повышает качество контакта. Определенные затруднения вызывает обращение с платами, потому что имеющаяся на ладонях соль может повредить покрытие OSP. Платы с покрытием OSP следует брать только за края, полезно также пользоваться перчатками. Для понижения контактного сопротивления рекомендуется покрывать тестовые площадки паяльной пастой. Для ограничения окисления меди и повышения выхода годных изделий в процессе пайки необходимо оптимизировать затраты времени на всех его этапах, в частности, оплавления, пайки волной, ручной пайки и т.д., чтобы процесс завершался менее, чем за 24 часа.

Исторически сложилось так, что наиболее широкое распространение получили покрытия HASL и OSP. Поскольку ни одно из покрытий не является идеальным для всех случаев, необходимо выбирать определенный вид покрытия, руководствуясь требованиями конкретной прикладной задачи с учетом технических и экономических вопросов, относящихся к данной технологии.

5.3.3 Нанесение покрытий из благородных металлов После выхода законодательства ЕС относительно удаления свинца из припоев для электронной промышленности наблюдается расширение применения благородных металлов в качестве покрытий печатных плат, несмотря на то, что стоимость золота приближается к исторически высочайшим отметкам конца 1970-х годов. Возрастает использование и более дорогих благородных металлов, в частности, иногда применяются покрытия на основе золота и палладия. В последнее время приобрели популярность два других финишных покрытия с использованием благородных металлов, особенно для нанесения на подложки BGA. Это химическое осаждение никеля / палладия / иммерсионное золочение (ENEPIG) и непосредственное иммерсионное золочение (DIG). Эти покрытия иногда называют универсальными, потому что они допускают пайку, разварку проволочных выводов, и обеспечивают поверхностный контакт. В частности, покрытие ENEPIG нечувствительно к проблемам хрупкости паяных соединений, которые иногда встречаются при использовании покрытий ENIG с шариковыми выводами BGA, изготовленными из бессвинцового припоя SAC.

5.3.3.1 Химическое никелирование / иммерсионное золочение (ENIG) Никелирование методом химического осаждения/иммерсионного золочения (ENIG) и никелирование электролитическим методом/гальваническое золочение обеспечивают продолжительное время хранения, плоскую поверхность, необходимую для поверхностного монтажа, и пригодность для контактирующего электрода

при проведении внутрисхемного контроля (ICT). Все перечисленные покрытия обеспечивают паяемость поверхности проводников в течение нескольких циклов пайки и не разрушаются в результате манипуляций с платой. Никелевое покрытие усиливает металлизацию сквозных отверстий во время многократных циклов пайки оплавлением и ремонта компонентов, установленных в сквозных отверстиях. Покрытия из благородных металлов обычно стоят дороже, чем покрытия из органического материала OSP, и, в зависимости от сложности ПП, сопоставимы по цене или дороже, чем покрытие по технологии HASL. Совмещение нескольких покрытий на одной плате, например Ni /Au в одной части и покрытия OSP в остальных частях платы, является дорогой и сложной задачей.

Никелирование методом химического осаждения и иммерсионное золочение можно выполнить при помощи различных химических реактивов, применение которых приводит к различным результатам. Кроме того, реактивы и технологические процессы могут быть несовместимы с некоторыми паяльными масками.

Никелирование методом химического осаждения производится с помощью восстановителей, содержащих фосфор и бор. Поэтому фосфор и бор остаются в осажденном слое никеля. Содержание этих элементов необходимо контролировать в заданных пределах. Если содержание фосфора или бора превысит установленный предел, то это может отрицательно повлиять на паяемость покрытия и надежность паяных соединений.

Многие производители успешно используют технологию никелирования химическим осаждением/иммерсионного золочения. Однако при использовании этого покрытия для плат, на которых устанавливаются компоненты BGA, результат может оказаться непредсказуемым. В последние годы наблюдались два вида брака. Первый вид – несмачивание, известное как «black pad» (черная контактная площадка). На рисунке 5-4 показано положение трещины, образующей дефект типа "черная площадка". Дефект образуется между слоем никеля и интерметаллическим слоем Ni-Sn (не между шариком и интерметаллидом Ni-Sn).

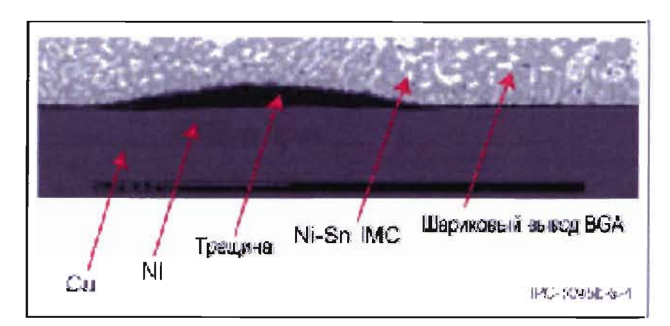


Рисунок 5-4 Образование трещины между слоем никеля и интерметаллическим слоем Ni-Sn (дефект "черная площадка")

Второй вид брака – разрушение паяного соединения по граничной поверхности под действием механической нагрузки, которое происходит между шариком BGA и интерметаллидом Ni-Sn. На рисунке 5-5 показано различие в характере двух этих видов разрушения и место их возникновения.

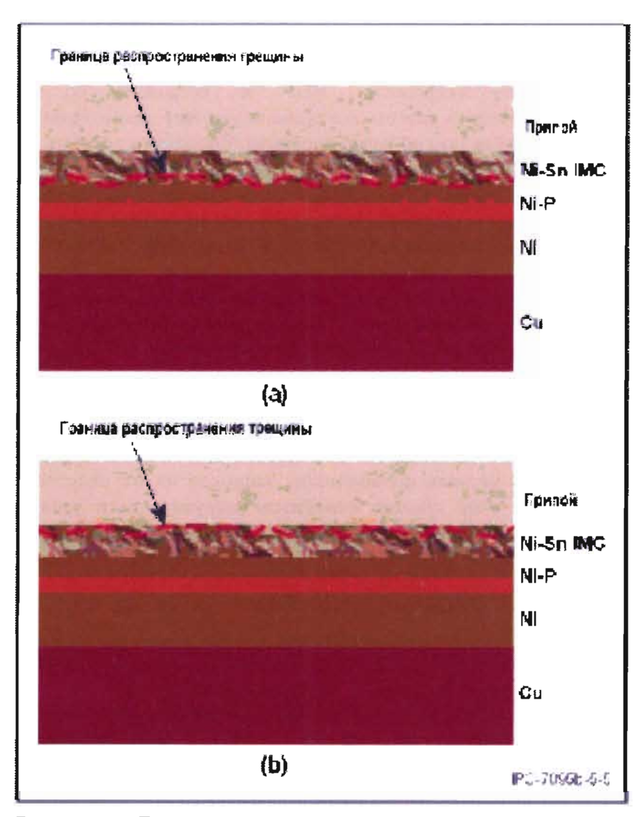
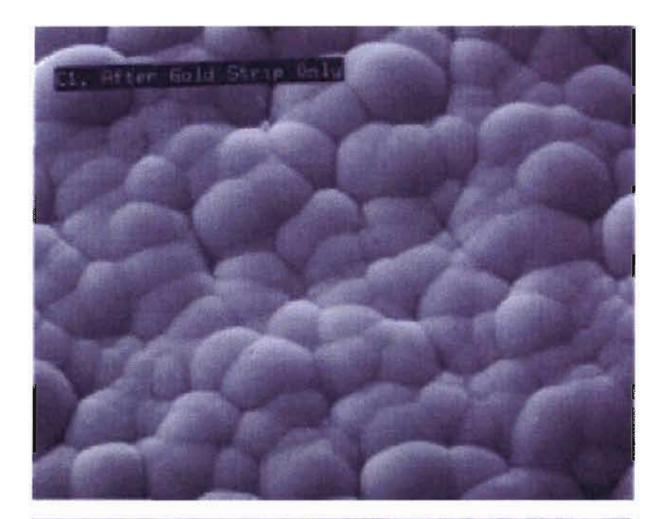


Рисунок 5-5 Положение трещины: а) разрушение по черной площадке; (b) разрушение по границе раздела при использовании покрытия ENIG

В результате работы промышленных консорциумов и отдельных компаний была выдвинута гипотеза о том, что появление «черной площадки» вызывается агрессивным воздействием (гиперактивная коррозия) на слой химически осажденного никеля в процессе нанесения иммерсионного золотого покрытия. Ионы золота из раствора притягивают электроны с никелированной поверхности, осаждаясь на ней в виде металла; ионы никеля высвобождаются в ванну. Из-за некоторых микроструктурных особенностей, таких как границы зерен, и особенностей электрохимического процесса, обмен не всегда проходит локально, например, золото может осаждаться в одном месте, а ионы никеля высвобождаются в другом. Возможным последствием этого эффекта является то, что данные участки никеля разрушаются, оставляя грубый слой, богатый фосфором, который формирует слабую связь с припоем. Некачественное паяное соединение приводит к формированию слабого механического соединения с платой, и в результате паяное соединение может разрушиться из-за сравнительно небольшого усилия; контактные площадки оголяются с остатками или без остатков припоя на них. Непокрытая никелированная поверхность контактной площадки является гладкой и окрашенной в различные цвета от серого до черного, что и породило термин «черная площадка» (см. рисунки 5-6 и 5-7). Анализ при помощи сканирующего электронного микроскопа показывает особую узловатую структуру никеля, подобную «трещинам усыхания». Исследование при помощи рентгеновской спектроскопии показывает большое содержание фосфора и никеля и низкое содержание олова. Следы коррозии и обогащенный фосфором слой можно наблюдать на отполированном разрезе.



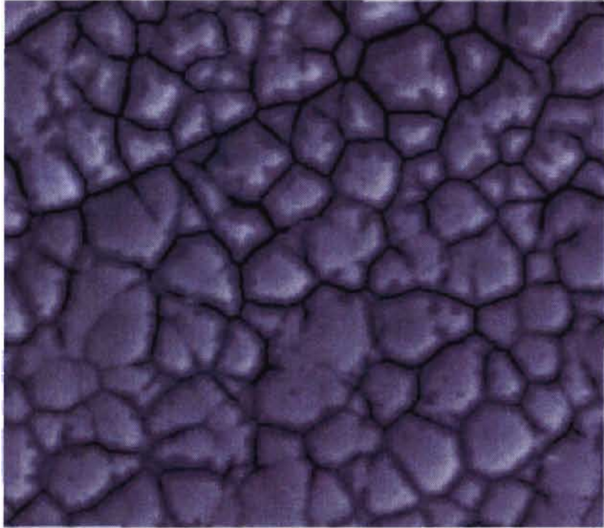


Рисунок 5-6 Типичный вид трещин «усыхания» поверхности «черной площадки»

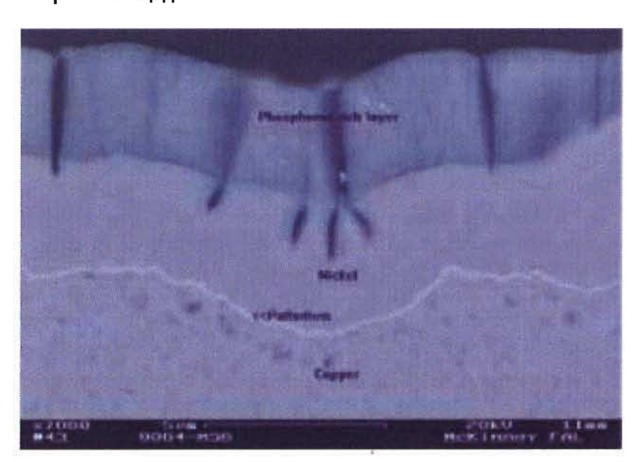


Рисунок 5-7 Большой участок «черной площадки» с пиками коррозии, проникшими в никелированный слой через слой фосфора под поверхностью иммерсионного золота

«Черные площадки» появляются не настолько часто, чтобы полностью отказаться от технологии никелирования путем химического осаждения/иммерсионного золочения. Производители, использующие ПП с этим покрытием, должны знать о потенциальных проблемах, изучить и уметь распознавать их, а также принимать меры к их устранению.

Результаты последних анализов показывают, что разрушение паяного соединения по границе раздела между никелем и интерметаллическим слоем никеля и олова под воздействием приложенного усилия происходит даже при отсутствии гиперактивной коррозии. Разрушение возникало в лабораторных условиях при различных воздействиях, включая изгиб, механический удар и термоциклирование. Данные показывают, что увеличение скорости деформации приводит к сдвигу вида разрушения в сторону разрушения по поверхности раздела. Поэтому разрушение по поверхности раздела может возникать и при низкой величине приложенного усилия, если скорость его приложения достаточно велика. На сегодняшний день не существует промышленной спецификации, которая в количественном выражении определяет механическую нагрузку на компоненты BGA при любом типе финишного покрытия.

5.3.3.2 Электролитическое никелирование / гальваническое золочение Другой разновидностью покрытий является никелирование электролитическим методом/гальваническое золочение. Эта технология подобна предыдущей, но в результате образуется иная структура зерен, в которой отсутствует эффект «черной площадки».

Никелирование электролитическим методом и гальваническое золочение выполняется после формирования рисунка платы и чаще всего перед нанесением паяльной маски, поэтому создает некоторый риск загрязнения поверхности. Паяльная маска, нанесенная поверх такого покрытия, имеет более слабую адгезию к плате. Это может привести к проблемам при сборке BGA, и особенно во время ремонта. Если паяльная маска, закрывающая пространство между контактными площадками BGA и межслойными отверстиями, отслаивается, то припой с контактных площадок стечет в отверстия, что приведет к недостаточному количеству припоя в паяном соединении или отсутствию соединения.

Другой проблемой является сложность поддержания равномерной толщины золотого покрытия на всей плате. Золотой слой может быть слишком тонким (например, в местах плотного монтажа) или слишком толстым (например, на участках с неплотным монтажом). Во втором случае высокое содержание золота (> 3%) может явиться причиной охрупчивания и разрушения паяных соединений.

5.3.3.3 Химическое осаждение никеля / химическое осаждение палладия / иммерсионное золочение (ENEPIG) Для разрешения некоторых проблем процесса нанесения слоев химический никель/химический палладий/иммерсионное золото (ENIG) была разработана другая комбинация процессов химического и иммерсионного нанесения покрытий. Вследствие перехода на бессвинцовый припой возросло количество работ, посвященных производству, обработке и надежности бессвинцовых электронных изделий. В некоторых оценочных работах использовался процесс нанесения слоев Ni-7%P/Pd/Au (ENEPIG) (5мкм / 0.06мкм / 0.03 мкм), показанный на рисунке 5-8.

В этих исследованиях рассматривалось формирование паяных соединений на поверхностном покрытии ENEPIG с использованием сплава SAC 305 LF. Результаты продемонстрировали очень высокую степень надежности

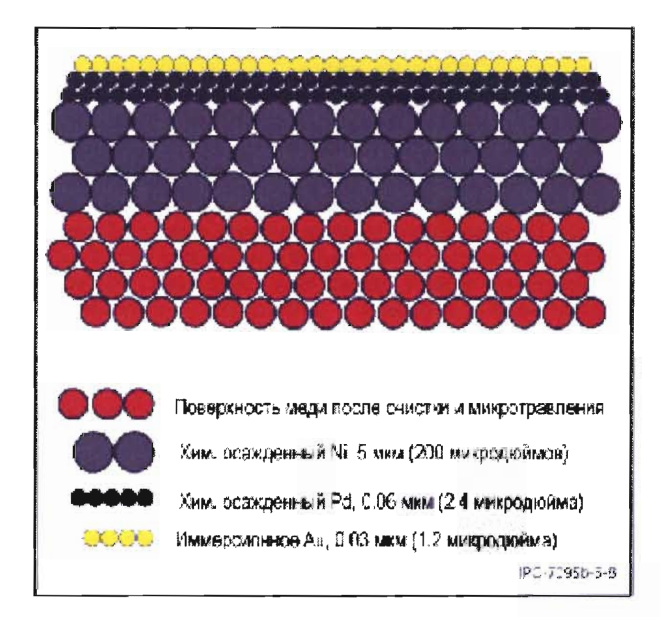


Рисунок 5-8 Графическое представление химически осажденных слоев никеля / палладия / иммерсионного золота

соединений в условиях испытаний. Было также отмечено, что аналогичное покрытие ENEPIG не обеспечивает надежности паяных соединений при использовании эвтектических оловянно-свинцовых припоев. Дело в том, что палладий не образует сплавов со свинцом. Не образующий сплава свинец нарушает формирование интерметаллических соединений. По мере проникновения Pd в слой Ni3Sn4 он агрегируется в характерные кластеры (отдельно от свинца), создавая неоднородный интерметаллический слой. Чрезмерный рост и неоднородность интерметаллического слоя приводят к ненадежности соединения покрытия ENEPIG с эвтектическим припоем.

5.3.3.4 Прямое иммерсионное золочение (DIG) Прямое иммерсионное золочение (Direct immersion gold - DIG) появилось, как конкурентоспособный процесс осаждения тонкого и однородного слоя золота непосредственно на поверхность меди. Проверка реакции осаждения в ванне для золочения (финишное покрытие типа flash gold) подтвердила, что медь не осаждается совместно с золотом, и основной движущей силой процесса является автокаталитическая реакция. Шероховатость поверхности меди способствует растекаемости припоя, что позволяет получить отличные характеристики паяного соединения при толщине пленки в диапазоне 30 - 80 нм. Кроме того, можно получить хорошие характеристики проволочных сварных соединений путем нанесения толстых покрытий в ванне для химического осаждения золота автокаталитического типа с нейтральным pH поверх слоя покрытия flash gold.

Результаты пайки бессвинцовым припоем на финишном покрытии DIG обычно хуже (меньше растекание) по сравнению с оловянно-свинцовым эвтектическим припоем. В случае использования бессвинцового припоя необходимо учитывать, что свойства интерметаллического слоя изменяются при 150°C и зависят от времени:

• Сначала толщина интерметаллического слоя для припоя Sn/Ag/Cu и оловянно-свинцового припоя отличается незначительно.

• По истечении 100 часов выдержки толщина интерметаллических слоев обычно одинакова.

• С увеличением времени нагрева толщина слоя Cu_3Sn продолжает наращиваться.

• Как и в случае оловянно-свинцового припоя, при использовании припоя Sn/Ag/Cu слой Cu_3Sn отчетливо наблюдается.

DIG представляет собой процесс нанесения финишного покрытия, в котором золото непосредственно наносится на поверхность меди методом химического осаждения. Графическое представление процесса показано на рисунке 5-9. Непосредственное осаждение золота на поверхность меди обеспечивает отличную кроющую способность; следует отметить, что основным механизмом осаждения является автокаталитическая реакция, а не реакция замещения.



Рисунок 5-9 Графическое представление прямого иммерсионного золочения

5.3.3.5 Иммерсионное серебро Промышленность продолжает изыскивать альтернативные покрытия, в которых будут преодолены недостатки технологий HASL, OSP и ENIG. Некоторыми из наиболее многообещающих технологий нанесения покрытий является иммерсионное серебро и иммерсионное олово. Относительно давно известно применение иммерсионного олова, которое ограничивалось проблемами образования интерметаллических соединений и пониженной способности к пайке. Эти проблемы находят разрешение в более современных разработках.

Как иммерсионное серебро, так и иммерсионное олово осаждается на поверхности платы при погружении ее в соответствующий раствор. Иммерсионное серебро – это металлическое защитное покрытие контактных площадок. Оно может быть постоянным, становясь частью собранной платы, или временным, предохраняющим медь от окисления и сохраняющим паяемость контактных площадок на время сборки. Иммерсионное серебро также является хорошей поверхностью для тестирования контактными зондами.

5.3.3.6 Иммерсионное олово Иммерсионное олово – это временное металлическое покрытие, защищающее медь от окисления и сохраняющее паяемость на время сборки. Из-за повышенного контактного сопротивления олова, оно менее пригодно для тестирования контактными зондами, чем иммерсионное серебро.

5.4 Паяльная маска Паяльная маска – это полимер. Однако, в отличие от ламинатов, она представляет собой не композитный, а однородный материал. Как следует из названия, этот материал используется для маскирования внешних участков платы, чтобы предотвратить образование

перемычек между проводниками. Вследствие перехода к процессам бессвинцовой пайки оценка характеристик паяльной маски приобретает совершенно новое значение.

В прошлом паяльные маски требовались не для всех плат, поскольку проводники и контактные площадки находились далеко друг от друга. Перемычки между соседними проводниками во время пайки волной возникали не так часто. Но с появлением тонких проводников, проложенных близко друг к другу, использование паяльной маски стало практически обязательным для плат, которые паяются волной припоя. На платах поверхностного монтажа, где не требуется пайка волной, выполняется закрытие или тентинг переходных отверстий для получения вакуума, требуемого для некоторых тестеров внутрисхемного тестирования. Также паяльная маска применяется для закрытия межслойных отверстий в целях уменьшения расстояние между отверстиями и соседними проводниками.

5.4.1 Паяльные маски в виде влажных и сухих пленок Постоянные паяльные маски производятся в виде сухих и влажных пленок. Маски из сухих пленок изготавливаются на основе воды или растворителя. В обоих случаях маски представляют собой полимерную пленку, которая накладывается на плату при помощи вакуумного ламинирования. Маски из влажных пленок, как следует из названия, являются жидкими или пастообразными. Они делятся на фотоэкспонируемые и наносимые через трафарет . Последние разделяются по способу полимеризации. Одни влажные паяльные маски, наносимые через трафарет, полимеризуются под воздействием ультрафиолетового излучения, другие – под воздействием температуры в конвекционных или инфракрасных печах. Ультрафиолетовые маски не обеспечивают такой же хорошей адгезии, как термически отверждаемые, но твердеют за несколько секунд, тогда как термически отверждаемые твердеют в течение 30-60 минут.

Паяльные маски каждой категории обладают преимуществами и недостатками. Они недороги и долговечны. В жидком состоянии они растекаются между проводниками и предотвращают образование воздушных пузырьков. Они не образуют отхода в виде обрезков, и для каждой конструкции можно задавать толщину маски. Поскольку паяльные маски в виде влажных пленок наносятся путем нанесения через трафарет (механический процесс), они с трудом фиксируются и нередко пропускают проводники, особенно на платах с высокой плотностью трассировки. Они также часто попадают на контактные площадки во время отверждения. Влажные маски, наносимые через трафарет, сложно использовать на платах с узкими проводниками и промежутками (< 200мкм), они также чувствительны к пустотам, пузырькам и отверстиям для выводов. С ростом популярности фотоэкспонируемых паяльных масок маски, наносимые через трафарет, используются все реже и реже.

При помощи паяльной маски в виде влажной пленки невозможно перекрыть переходные отверстия. Обычно материал маски частично заполняет отверстия только с одной стороны, что позволяет предотвратить образование перемычек, но неэффективно как блокировка отверстий для образования вакуума во время электрического тестирования. Для образования надежного заполнения, предотвращающего проникновение химических реактивов внутрь отверстия, необходимо контролировать степень заполнения.

В частично заполненных отверстиях задерживаются реактивы; очищать такие отверстия очень сложно. Паяльные маски в виде сухой пленки обладают некоторыми преимуществами по сравнению с влажными масками, наносимыми через трафарет. Первые обеспечивают очень точное нанесение, необходимое для предотвращения образования перемычек между контактами и растекания по платам с тонкими проводниками, и высокое разрешение. Перекрытие переходных отверстий при помощи паяльных масок в виде сухих пленок также превосходное, т.к. они не переходят в жидкое состоянии и не попадают в отверстия во время вакуумного ламинирования. Однако при ламинировании полутвердой сухой пленки на неровной поверхности платы могут возникнуть некоторые проблемы. Любое искривление платы может вызвать образование воздушных пузырьков под пленкой вблизи проводников..

Отверждение паяльной маски в виде сухой пленки чрезвычайно важно для получения надежного покрытия. недостаточное отверждение может вызвать проблемы с отмывкой из-за уменьшения сопротивляемости химическому воздействию со стороны флюсов и промывочных жидкостей. Чрезмерное отверждение приводит к хрупкости маски, которая может легко потрескаться в результате воздействия термического напряжения.

Большинство паяльных масок в виде сухих пленок не устойчиво к тепловому удару. Трещины появляются на твердых масках через 100 циклов термоциклирования при изменении температуры от +100 до -40°C. Это может вызвать проблемы, особенно в платах SMOBC из-за оголенных медных контактов. Однако некоторые паяльные маски являются устойчивыми к тепловому удару.

Сухие пленочные маски более дорогие, чем влажные, число их изготовителей ограничено. Кроме того, процесс нанесения сухой пленочной паяльной маски очень сложно контролировать. В продаже имеется всего несколько пленок различной толщины, что ограничивает диапазон применения и увеличивает стоимость. Толщина большинства сухих пленочных паяльных масок велика, от 75 до 100 мкм. Наличие обрезков также увеличивает стоимость.

Иногда из-за большой толщины возникает несмачивание монтажной поверхности плат, содержащих компоненты, паяемые волной припоя. Кроме того, маска большой толщины, окружающая небольшие переходные отверстия, может препятствовать их заполнению припоем во время пайки волной (эффект образования воронок).

Маска большой толщины может вызвать проблемы и при пайке оплавлением. Например, сухая пленочная маска, нанесенная между контактных площадок пассивных компонентов поверхностного монтажа, может вызвать возникновение дефекта типа надгробного камня во время пайки оплавлением из-за неустойчивого положения компонента. По этой причине не рекомендуется использовать сухую пленочную паяльную маску между контактными площадками чип-резисторов и конденсаторов, а также на платах с приклеенными к нижней стороне компонентами для пайки волной припоя.

5.4.2 Фотоэкспонируемые паяльные маски Фотоэкспонируемые паяльные маски сочетают в себе преимущества сухих пленочных и влажных паяльных масок. Сухие пленки также являются фотоэкспонируемыми масками. Однако в данном разделе мы остановимся на влажных пленочных фотоэкспонируемых масках, которые обеспечивают простоту и точность нанесения, полностью закрывают проводники схемы, долговечны и обладают меньшей стоимостью, чем сухие пленки.

Фотоэкспонируемые маски могут наноситься как через трафарет, так и наливным способом, в котором плата с высокой скоростью проходит через завесу из паяльной маски.

Фотоэкспонируемая маска может содержать растворитель в составе жидкого фотополимера. Маску, в состав которой входит растворитель, наносят на плату через трафарет, растворитель высыхает в печи, а затем плата облучается ультрафиолетовым излучением бесконтактным или

контактным способом. (Если растворитель не используется, жидкость на 100% реагирует с ультрафиолетовым излучением.) Бесконтактный способ требует использования системы направленного излучения для уменьшения дифракции и рассеивания света в жидкости. Это значительно повышает стоимость системы. Для контактного способа не нужно направленного источника ультрафиолетового излучения, поэтому система получается относительно дешевой. Фотоэкспонируемые паяльные маски могут закрывать (тентировать) только очень небольшие переходные отверстия. Большинство влажных фотоэкспонируемых пленочных масок не способны закрыть отверстия диаметром 0,35 мм и более из-за сложности полимеризации жидкости внутри отверстия. При необходимости тентинга в качестве маски следует использовать сухую пленку, т.к. только такой материал может эффективно закрыть переходные отверстия.

5.4.3 Совмещение Точность нанесения паяльной маски на отдельные платы очень важна для любых плат поверхностного монтажа. Особенно, если для упрощения процесса сборки и повышения производительности используются групповые заготовки (мультиплицированные платы). Изготовители плат изначально проектируют групповые заготовки; сборщики также хотят получить преимущества работы с групповыми заготовками.

Размещение отдельных плат на групповой заготовке обычно выполняется по усмотрению производителя плат. Производитель оптимизирует использование материала в групповой заготовке, а также допуски, которые можно обеспечить с материалом, используемым для изготовления конкретной платы. Хорошо известно, что органический материал может деформироваться, поэтому производители плат, зная об этом, регулируют фотошаблон так, чтобы компенсировать растяжение или усадку материала, в зависимости от размеров одного печатного модуля и всей групповой заготовки.

Компании-сборщики создают трафареты путем последовательного шагового переноса одного печатного модуля из всего массива. Сборщику необходимо знать точное соотношение, позволяющее определить положение контактных площадок для BGA одной платы по положению контактных площадок соседней платы. Неправильное расположение печатных модулей на групповой заготовке может привести к ошибкам нанесения паяльной маски на плату для поверхностного монтажа.

В прошлом была распространена практика поворота отдельных печатных модулей на групповой заготовке для обеспечения максимального использования материала. Такая практика опасна тем, что коэффициент усадки разных печатных модулей может оказаться различным. На рисунке 5-10 показан пример укладки двух массивов печатных модулей на групповую заготовку в горизонтальном положении и одного – в вертикальном для рационального использования материала. При использовании материала, армированного стекловолокном, коэффициент усадки горизонтально уложенных модулей отличается от коэффициента усадки модулей, уложенных вертикально. Производители должны учитывать сложности, связанные с установкой модулей в повернутом положении.

5.4.4 Защита переходных отверстий

5.4.4.1 Перекрытие переходных отверстий Принцип перекрытия переходов позволяет наносить паяльную маску на контактные площадки, не заполняя металлизированные переходные сквозные отверстия. Перекрытие перехода совпадает с отверстием первичной паяльной маски и подобрано таким образом, чтобы его размер был несколько больше размера переходного отверстия.

Этот принцип позволяет выполнять обезгаживание или очистку металлизированных переходов любым способом, обеспечивает большую степень перекрытия поверхности и повышение адгезии паяльной маски к медному ободку. При этом остается увеличенная перемычка между площадкой и переходом, что сводит до минимума площадь удаления паяльной маски при извлечении BGA для ремонта.

5.4.4.2 Заполнение переходных отверстий Заполнение, закрытие, заливка и закупоривание (проводящее или непроводящее) – процессы закрывания или заполнения переходных отверстий паяльной маской. Заполнение переходных отверстий обычно выполняется на платах как для пайки оплавлением, так и волной припоя. Заполнение отверстий рекомендуется в определенных условиях, например для плат, в которых есть переходные отверстия под корпусами BGA, и вторая сторона которых паяется волной припоя. При пайке второй стороны платы волной через переходные отверстия отводится большое количество тепла. Это особенно важно для компонентов BGA, т.к. плотность переходных отверстий под ними может быть очень велика. Выводы BGA могут оплавиться повторно во время прохождения платы над волной припоя. Оплавление без флюса может привести к эффекту холодной пайки и отсутствию контакта.

Очень полезно на платах, подлежащих пайке волной припоя, закупоривать отверстия, которые непосредственно или через проводники соединены с контактными площадками компонентов BGA. Рекомендуется закрывать (тентировать) все переходные отверстия, находящиеся на расстоянии менее 1,0 мм от контактных площадок BGA (см. рисунок 5-11). Закрытие (capping) отверстия является наиболее предпочтительным способом, т.к. надежность тентинга (tenting) зависит от окончательного размера отверстия.

Следующие определения относятся ко всем операциям заполнения отверстий. Существует четыре основных вида заполненных отверстий:

- ***Тентированное отверстие (tented via)*** - сквозное переходное отверстие, закрытое сухой пленочной паяльной маской; отверстие не заполнено. Если тентирование выполняется с двух сторон, может возникнуть расширение находящегося внутри воздуха и вспучивание маски во время групповой пайки. Если тентирование выполняется с одной стороны, в отверстие во время сборки могут попасть химические реактивы, особенно при использовании агрессивных флюсов.

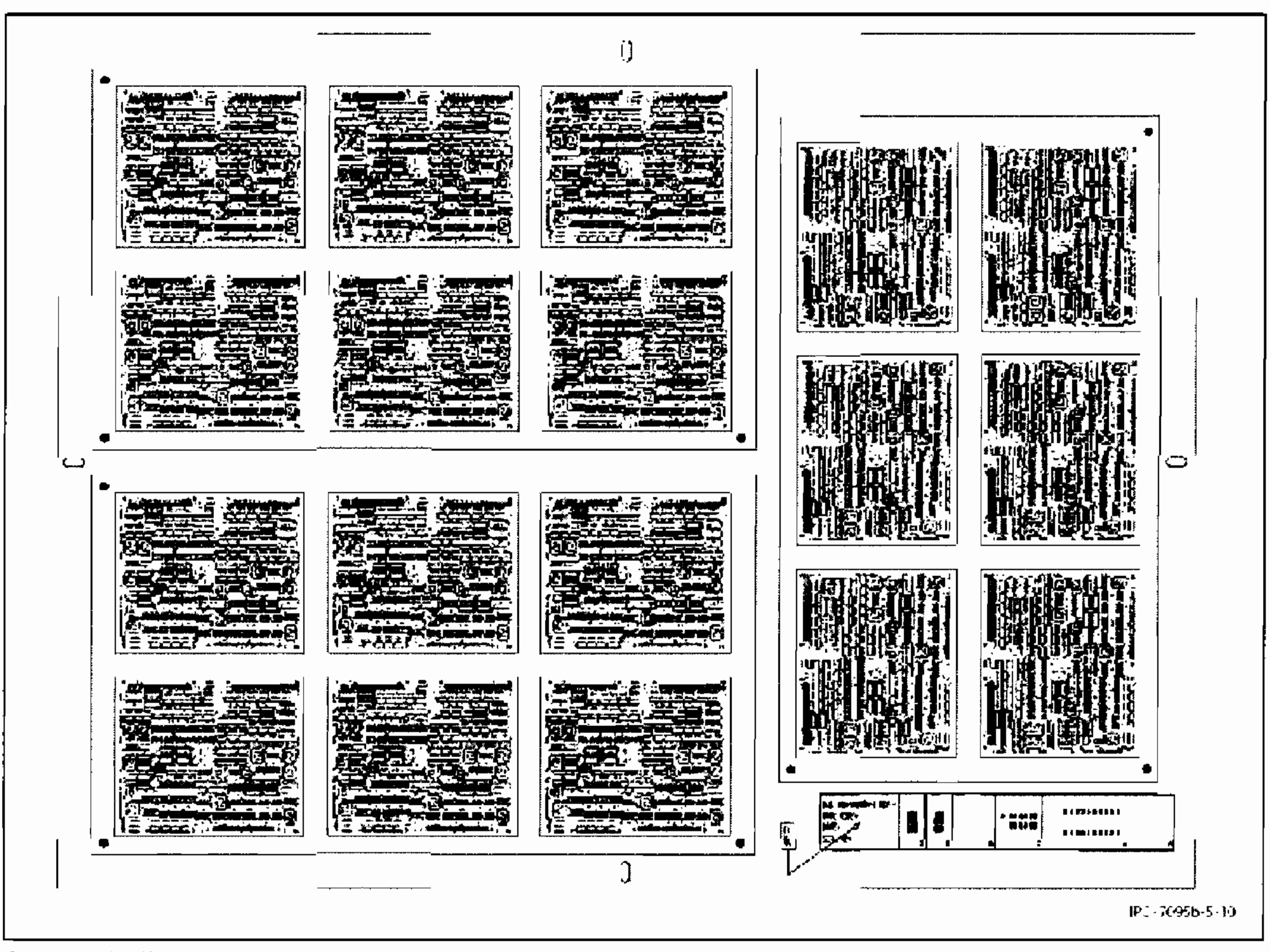


Рисунок 5-10 Компоновка плат в прямом и повернутом положениях

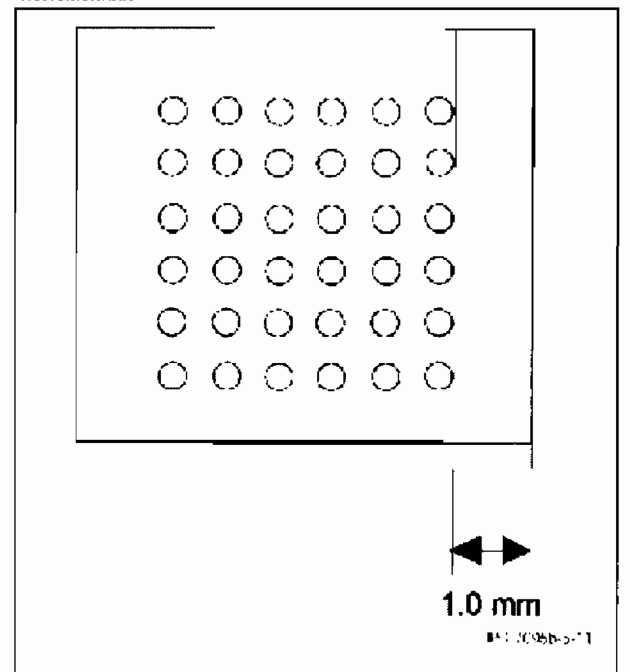


Рисунок 5-11 Расстояние до тентированных переходных отверстий

• ***Залитое отверстие (flooded via)*** - отверстие, которое заливается паяльной маской LPI; отверстие частично заполняется или его стенки закрываются паяльной маской.

• ***Закрытое отверстие (capped via)*** - вторичная операция наложения паяльной маски на одну или обе стороны отверстия; отверстие заполняется частично, обычно между покрытиями остается пустое пространство. Если отверстие закрывается с двух сторон, может возникнуть расширение находящегося внутри воздуха и вспучивание маски во время групповой пайки.

• ***Закупоренное отверстие (plugged via)*** - дополнительная операция, которая выполняется перед нанесением паяльной маски; отверстие заполняется проводящим или непроводящим материалом.

Отверстия в местах установки компонентов BGA часто закупориваются для предотвращения попадания припоя на выводы BGA при пайке волной. В таблице 5-3 показана совместимость различных технологий заполнения отверстий и защитного покрытия проводников.

Как правило, заливка и закрытие отверстий выполняется после нанесения финишного покрытия контактных площадок. При использовании органического покрытия OSP и покрытия иммерсионным серебром закрытие отверстий должно выполняться после нанесения финишного покрытия, т.к. в противном случае агрессивные реактивы, которые используются для чистки поверхности меди, могут попасть внутрь отверстия. Эти реактивы могут повредить

Таблица 5-3 Совместимость технологий заполнения отверстий с технологиями защитного покрытия проводников

Технол. покрытия	Тентинг	Заливка	Закрытие	Закупоривание	Перекрытие
HASL	можно	можно	можно	можно	можно
OSP	можно	не рекомендуется	можно	можно	можно
ENIG	можно	можно	можно	можно	можно
ImAg	можно	не рекомендуется	можно	можно	можно
ImSn	можно	не рекомендуется	можно	можно	можно

стенки отверстия, что вызовет нарушение контакта внутри него. Закрытие отверстий паяльной маской после нанесения финишного покрытия контактных площадок может повредить это покрытие (OSP, иммерсионное серебро, иммерсионное олово) из-за воздействия высокой температуры, необходимой для полимеризации паяльной маски.

Стандарт IPC определяет восемь различных методов закупоривания/закрытия отверстий. Они показаны на рисунке 5-12. Следует иметь в виду, что выбор способа закрытия отверстий может существенно повлиять на последующий процесс установки компонентов.

Кроме указанных восьми методов в таблице 5-4 приведено сравнение преимуществ и недостатков распространенных вариантов, предлагаемых изготовителями плат. Выбор методов закрытия отверстий и вариантов их выполнения зависит от возможностей и производителей, и сборщиков. Чтобы избежать затруднений во время сборки, необходимо понимать различия между вариантами.

При использовании технологии HASL покрытие припоем предотвращает воздействие агрессивных химикатов и увеличивает общую толщину внутренних стенок отверстий. Однако, если отверстия покрыты припоем изнутри до закрытия их паяльной маской, припой расплавится во время пайки оплавлением двусторонних плат. В результате паяльная маска, закрывающая отверстие, может отслоиться. Если толщина покрывающего припоя высока или припой попал в отверстие при изготовлении платы, то возможно вытекание припоя в соседние отверстия (см. рисунок 5-13). Это особенно критично, если закрытие выполняется только с нижней стороны платы под корпусом BGA.

5.5 Встраивание в конструкцию распределителя тепла (платы с металлическим слоем) Для выполнения конструктивных, тепловых или электрических требований к органическому материалу платы может добавляться металлический слой. Рекомендуется размещение металлического слоя симметрично относительно слоев платы. Металлический слой может располагаться и асимметрично (т.е. с различным количеством слоев с каждой из сторон), однако в этом случае сквозные отверстия, проходящие через все слои, будут менее надежными из-за различного теплового расширения платы с разных сторон металлического слоя (см. рисунок 5-14).

Преимуществом асимметричной конструкции является то, что электрические свойства и функции отделены от механических, в частности, от функции рассеивания тепла. Недостатком является возможность деформации платы во время пайки и при изменениях температуры из-за различий коэффициента теплового расширения материалов платы и металлического слоя.

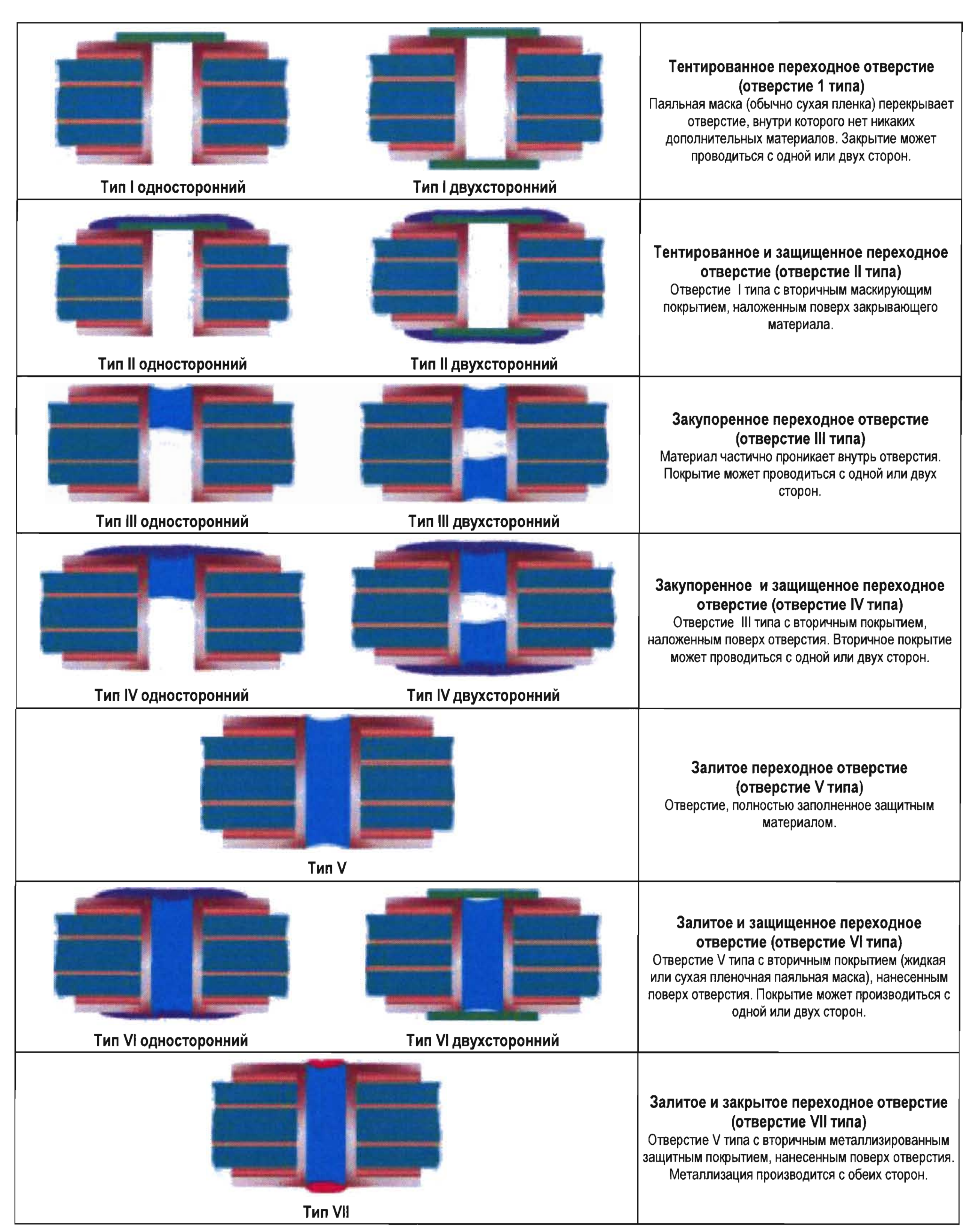
Некоторой компенсации этой разности можно добиться, добавляя дополнительные медные пластины с обратной стороны платы. Дополнительная медная пластина немного увеличивает коэффициент теплового расширения и усложняет пайку, т.к. для формирования паяных соединений потребуется больше энергии; положительным эффектом является улучшение теплопроводности.

5.5.1 Последовательность формирования слоев Как уже отмечалось, самым лучшим вариантом является симметричное расположение слоев платы относительно металлического слоя. В этом случае верхняя и нижняя половины изготавливаются отдельно в собственной последовательности. Если в четырехслойной плате необходимо сделать сквозные переходы, то соответствующие отверстия дублируются по обе стороны металлического слоя.

Для достижения эффекта упрочнения общая толщина металлического слоя в многослойной плате должна составлять примерно 25% толщины платы. Чаще применяются платы с упрочняющим слоем, поскольку в этом случае на средних слоях можно осуществлять экспонирование и травление дорожек и их соединение через сквозные отверстия. Платы с двойными упрочняющими слоями демонстрируют большую устойчивость к воздействию изменения температуры, чем с одинарными.

Другой вариант создания платы с упрочняющим слоем – закрепление отдельных полностью готовых многослойных плат с каждой стороны толстой металлической пластины. Затем в полученной комбинированной плате выполняется сверление, металлизация и травление для создания металлизированных сквозных отверстий, соединяющих необходимые дорожки на обеих платах. Для проверки многослойной структуры необходимо предоставить опытные образцы.

5.5.2 Теплопередача Металлический слой значительно увеличивает тепловую массу платы. Это может привести к необходимости чрезмерной температуры предварительного нагрева перед пайкой. Перед началом выпуска такие конструкции необходимо тщательно проверить в производственных условиях. Повреждения материала платы, обесцвечивание и зернистая структура припоя – типичные эффекты, которые наблюдались при производстве плат с металлическими слоями.



Тип I односторонний; Тип I двухсторонний	**Тентированное переходное отверстие (отверстие 1 типа)** Паяльная маска (обычно сухая пленка) перекрывает отверстие, внутри которого нет никаких дополнительных материалов. Закрытие может проводиться с одной или двух сторон.
Тип II односторонний; Тип II двухсторонний	**Тентированное и защищенное переходное отверстие (отверстие II типа)** Отверстие I типа с вторичным маскирующим покрытием, наложенным поверх закрывающего материала.
Тип III односторонний; Тип III двухсторонний	**Закупоренное переходное отверстие (отверстие III типа)** Материал частично проникает внутрь отверстия. Покрытие может проводиться с одной или двух сторон.
Тип IV односторонний; Тип IV двухсторонний	**Закупоренное и защищенное переходное отверстие (отверстие IV типа)** Отверстие III типа с вторичным покрытием, наложенным поверх отверстия. Вторичное покрытие может проводиться с одной или двух сторон.
Тип V	**Залитое переходное отверстие (отверстие V типа)** Отверстие, полностью заполненное защитным материалом.
Тип VI односторонний; Тип VI двухсторонний	**Залитое и защищенное переходное отверстие (отверстие VI типа)** Отверстие V типа с вторичным покрытием (жидкая или сухая пленочная паяльная маска), нанесенным поверх отверстия. Покрытие может производиться с одной или двух сторон.
Тип VII	**Залитое и закрытое переходное отверстие (отверстие VII типа)** Отверстие V типа с вторичным металлизированным защитным покрытием, нанесенным поверх отверстия. Металлизация производится с обеих сторон.

Рисунок 5-12 Методы защиты отверстий

Таблица 5-4 Варианты закрытия переходных отверстий

	Сверху	Снизу	Сверху и снизу	Без закрытия
Преимущества				
Увеличение устойчивость к ремонтам	Да	Да	Да	Нет
Уменьшение риска повторного оплавления при пайке волной	Да	Да	Да	Нет
Предотвращение утечки припоя	Да	Да	Да	Нет
Недостатки				
Дополнительный производственный процесс	Да	Да	Да	Нет
Ограничение высоты со стороны установки компонентов	менее 50 мкм над паяльной маской	Нет	менее 50 мкм над паяльной маской	Нет
Опасность загрязнения	Да (при пайке волной припоя существует вероятность попадания флюса в отверстие)	Нет	Да (загрязнения, попавшие внутрь отверстия, сложно обнаружить)	Нет
Проблемы разрушения закрывающей маски	Да	Да	Да	Нет

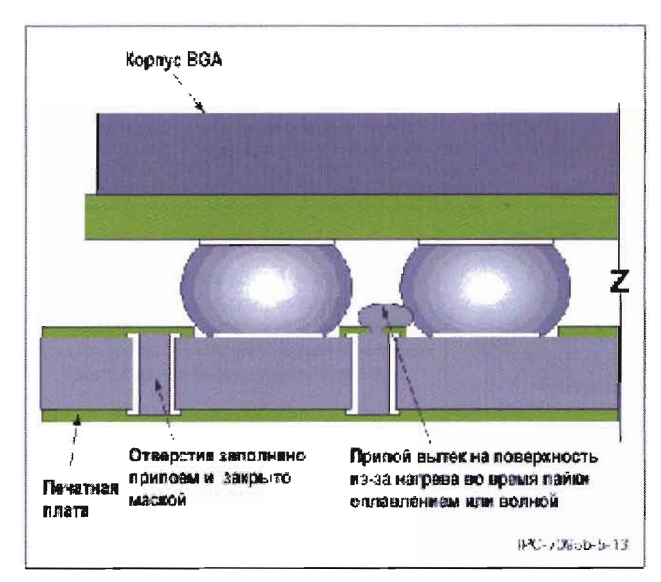


Рисунок 5-13 Вытекание припоя из заполненного тентированного отверстия

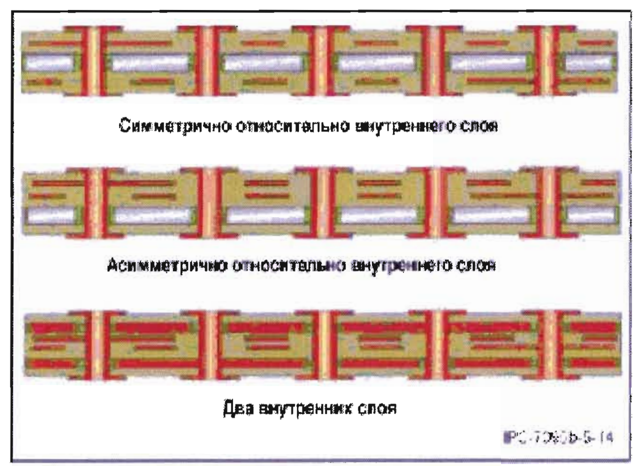


Рисунок 5-14 Примеры конструкции плат с металлическим слоем

Теплопередача между компонентами и слоями обычно обеспечивается либо за счет непосредственного контакта со слоем, либо с помощью специальных теплоотводящих отверстий, расположенных под компонентами и соединенных с металлической пластиной или слоем, выступающим в этой роли.

6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

6.1 Установка компонентов и расстояние между ними

Вокруг корпуса BGA должно быть достаточно свободного места (от 3 до 5 мм) для возможности ремонта. Рекомендуется выбирать большие размеры свободной зоны, особенно для корпусов CBGA при использовании ступенчатого трафарета для нанесения паяльной пасты и горячего воздуха для ремонта. Однако в случае применения для ремонта полупроводниковых лазерных систем размер свободного места можно уменьшить до 0,5 – 1,00 мм, поскольку лазер не оказывает воздействия на соседние компоненты.

6.1.1 Требования к оборудованию для установки компонентов Преимуществом корпусов BGA по сравнению с другими современными корпусами с большим числом выводов (с малым шагом, TAB, PGA и пр.) является возможность установки с использованием существующего оборудования поверхностного монтажа. Компоненты BGA менее требовательны к процессам установки, потому что обладают способностью к самоцентрированию.

6.1.2 Требования к оборудованию для ремонта Возможность проведения ремонта компонентов BGA – главный источник требований к свободному пространству. Типичный ремонт плат с компонентами BGA состоит из пяти этапов:

1) нагрев паяных соединений до температуры плавления для снятия корпуса;

2) удаление припоя и чистка контактных площадок платы;

3) нанесение новой паяльной пасты или флюса;

4) установка нового компонента BGA;

5) нагрев выводов до температуры оплавления для соединения компонента BGA с печатной платой.

При выполнении каждого их этих этапов может потребоваться свободное пространство. Изготовители ремонтного оборудования указывают свои требования к необходимому свободному пространству. Ниже описаны общие правила.

Почти во всех технологиях ремонта, использующих горячий воздух, применяются система насадок, устанавливающихся поверх и/или вокруг корпуса BGA для нагрева выводов при снятии или пайке компонента. Рекомендуется оставлять не менее 2,5 мм свободного места от внешних краев нагревательной насадки. С учетом размеров самой насадки вокруг компонента должно оставаться 3,8 мм свободного пространства. Это пространство вокруг корпуса BGA обеспечивает место для работы насадки и снижает риск нагрева соседних компонентов до температуры оплавления. Если для ремонта используется лазер, свободное пространство может быть уменьшено до 1 мм.

После снятия корпуса BGA с платы во время ремонта перед установкой нового компонента контактные площадки необходимо очистить и нанести новую паяльную пасту или флюс. Если паяльная паста или флюс наносятся вручную, или паяльная паста наносится при помощи автоматической системы дозирования, дополнительное свободное место вокруг компонента не требуется. Однако во многих ремонтных системах для нанесения паяльной пасты используются миниатюрные трафареты и ракели. В этом случае минимальное пространство вокруг компонента должно составлять не менее 3 мм (т.е. номинальное расстояние между корпусами соседних компонентов), чтобы обеспечить свободное пространство для насадки и трафарета. Если рядом установлены компоненты большой высоты, то может потребоваться намного большее свободное пространство, чем приведенное минимальное значение.

6.1.3 Общие требования к месту установки Не существует специальных требований к месту установки корпусов BGA. Однако рекомендуется не устанавливать корпуса BGA вблизи осевой линии платы. Это снижает потенциальные проблемы компланарности, связанные с деформацией платы во время пайки. Кроме того, не рекомендуется размещать корпуса BGA близко к крупным компонентам, устанавливаемым в сквозные отверстия, т.к. они существенно увеличиваю локальную жесткость. В некоторых случаях можно использовать определенные особенности, которые могут реально помочь в защите BGA - например, если напряжения, возникающие относительно углов BGA, снижаются за счет жесткости расположенных рядом компонентов, монтируемых в отверстия, или других. И, наконец, корпуса BGA должны размещаться таким образом, чтобы их диагонали не располагались в линию с монтажными распорками, втулками и винтами, которыми поддерживается или закрепляется печатный узел, поскольку это создаст напряжения в угловых шариковых выводах, наиболее подверженных повреждениям.

6.1.4 Указатели совмещения (шелкография, реперные знаки, указатель первого вывода) Для проверки правильности установки корпусов BGA перед и после пайки рекомендуется наносить на печатную плату указатели совмещения. Корпуса BGA, особенно PBGA, во время пайки самоцентрируются, даже если начальное смещение составляет 50% размера контактной площадки. Нарушение совмещения наблюдается только при смещении компонента на размер контактной площадки или больше.

Указатели совмещения помогают визуально проверить точность позиционирования компонента.

Шелкография и реперные знаки – два основных способа, использующиеся для оценки правильности установки.

Шелкография очень хорошо видна на плате, но требует дополнительных технологических операций при ее изготовлении. Медные структуры для оценки правильности установки формируются одновременно с рисунком платы и поэтому обеспечивают более высокую точность. В этом случае незаземленные участки меди могут повлиять на работу высокочастотных цепей. Незаземленные медные проводники могут накапливать емкость, которая будет распределяться неконтролируемым образом.

Во многих случаях указатель используется оборудованием или персоналом для оценки правильности установки корпуса BGA. Для компонентов с периметрическим расположением выводов реперные знаки стандартизованы, поэтому установочное оборудование может в соответствии с их найденным положением скорректировать положение установочной головки и улучшить точность позиционирования компонента.

Реперные знаки обычно устанавливаются в противоположных углах, чтобы обеспечить корректировку по углу («тэта»). Эта технология используется в большинстве установочного оборудования. Использование реперных знаков не всегда может обеспечить идеальные условия для визуальной проверки, однако большинство проверяющих может оценить правильность установки корпуса между двумя локальными реперными знаками. В некоторых случаях изготовители используют маркировку углов компонента вместо реперных знаков для упрощения визуального контроля, однако видеосистемы установочного оборудования не всегда могут распознавать такую маркировку, поэтому такая практика не всегда является подходящей для обеспечения автоматической сборки (см. рисунок 6-1). При помощи шелкографии можно очертить на плате контур компонента, что существенно упрощает визуальный контроль. Другая часто использующаяся маркировка – маркировка только углов корпуса BGA.

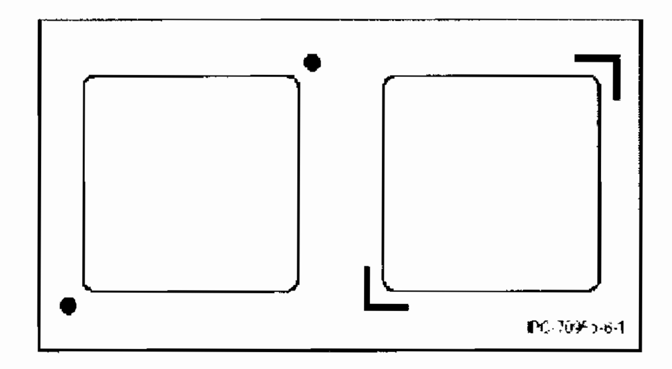


Рисунок 6-1 Маркеры совмещения корпуса BGA

Угловые маркеры должны иметь длину не более 0,8 мм с каждой стороны. Угловые маркеры могут быть сформированы одновременно с рисунком платы, если они не мешают трассировке проводников и не влияют на эффективность работы схемы, привнося нежелательные емкостные связи.

Все знаки совмещения должны находиться на расстоянии 0,25 мм от внешней кромки корпуса BGA. Это достаточное расстояние для полного осмотра пространства вокруг корпуса BGA. На контактных площадках компонентов BGA необходимо размещать указатель первого вывода (pin #1). В качестве указателя рекомендуется использовать линию, точку или иной хорошо различимый символ. Указатель первого вывода может быть выполнен шелкографией или сформирован медью, и должен быть хорошо различимым, чтобы его было

невозможно спутать с другими метками вокруг контактных площадок.

6.2 Место установки (контактные площадки и сквозные отверстия)

6.2.1 Большие и малые контактные площадки и их влияние на разводку проводников Диаметр контактной площадки может повлиять на надежность паяных соединений, а также на разводку проводников. Диаметр контактной площадки обычно меньше, чем диаметр шарикового вывода корпуса BGA. Уменьшение размера контактной площадки на 20-25% делается для обеспечения надежности соединения. Чем больше размер контактных площадок, тем меньше места для проводников между площадками. Например, корпус BGA с шагом 1,27 мм при диаметре контактных площадок 0,63 мм позволит проложить два проводника между площадками с использованием проводников и расстояний между ними шириной 125/125 мкм. Если используется контактная площадка 0,8 мм, между площадками можно проложить только один проводник с использованием проводников и расстояний между ними шириной 125/125 мкм.

В таблицах 6-1 и 6-2 указано число проводников, которое можно проложить между площадками различного диаметра, и их размеры.

Следующее уравнение можно использовать для определения числа проводников, которые можно проложить между контактными площадками в зависимости от шага выводов корпуса (P), диаметра контактных площадок (D), числа проводников между площадками (n), и ширины проводника / расстояния (x):

$$P - D > (2n + 1)x$$

Основное правило заключается в том, что контактная площадка печатной платы должна иметь тот же диаметр, что и контактная площадка на пластиковой подложке BGA.

В таблице 6-3 показан другой подход, в котором приводится максимально возможный размер площадки для определенного количества проводников и дополнительные значения шага вместо количества проводников на каждую площадку. Приводится также информация о промежуточных переходах.

Размеры контактных площадок для пайки CBGA должны проектироваться таким образом, чтобы неосевший шариковый или столбиковый вывод имел достаточную опорную поверхность на площадке для образования паяного соединения с шариками или столбиками CBGA. Для минимального удовлетворения этого требования площадки получаются несколько увеличенными; это необходимо для обеспечения надежности паяного соединения, которое обычно достигается за счет плавления слоя паяльной пасты.

6.2.2 Контактные площадки, ограниченные паяльной маской и металлом

Существует два основных типа контактных площадок, используемых для установки корпусов BGA. Это площадки, ограниченные металлом (metal defined (MD)) и площадки, ограниченные паяльной маской (solder mask defined (SMD)). Площадки MD ограничиваются при травлении и вокруг них имеются просветы в паяльной маске, как у большинства

Таблица 6-1 Количество проводников между контактными площадками для корпусов BGA с шагом выводов 1,27 мм

Диаметр площадки (мкм)		750	70	625	500	400	350
Ширина проводников (мкм)	200	нет	нет	1	1	1	1
	150	1	1	1	2	2	2
	125	1	1	2	2	2	3
	100	2	2	2	3	3	4
	75	2	3	3	4	5	5

Таблица 6-2 Количество проводников между контактными площадками для корпусов BGA с шагом выводов 1,00 мм

Диаметр площадки (мкм)		625	500	400	350	300	250	200
Ширина проводников (мкм))	200	нет	нет	1	1	1	1	1
	150	нет	1	1	1	1	2	2
	125	1	1	1	2	2	2	2
	100	1	2	2	2	2	3	3
	75	2	2	3	3	4	4	4

Таблица 6-3 Максимальный размер площадки в зависимости от шага

			Максимальный размер площадки		
Шаг выводов BGA	Размер шарика	Стандартная	Отверстие	Один проводник	Два проводника
1.27	0.75	0.750	0.95	0.90	0.65
1.0	0.60	0.45	0.45	0.65	0.40
0.8	0.50	0.40	0.30	0.45	
0.7	0.40	0.35	0.20	0.35	

Допущения: ширина проводников и просветов 125/125 мкм
размер площадки с отверстием для BGA с шагом 1.25 мм и 1.0 мм равен 0.63 мм
размер площадки с отверстием для BGA с шагом 0.8 мм и 0.7 мм равен 0.5 мм
Все значения округлены в меньшую сторону на 0.05 мм

площадок для поверхностного монтажа. В площадках SMD маска перекрывает медную контактную площадку (см. рисунок 6-2). Оба типа контактных площадок имеют свои преимущества и недостатки.

6.2.2.1 Площадки, ограниченные металлом Контактные площадки, ограниченные металлом (MD) имеют меньший диаметр, и поэтому оставляют больше пространства для проводников и переходных отверстий. Размеры медных площадок проще контролировать, чем размеры площадок, ограниченных паяльной маской, что позволяет достичь более равномерного покрытия проводников, особенно по технологии HASL. Отсутствие паяльной маски вокруг площадки позволяет припою растекаться вокруг ее кромок, уменьшая области концентрации напряжения.

Площадки, ограниченные металлом, обеспечивают улучшенную геометрию паяного соединения (см. рисунок 6-3), что увеличивает его усталостную долговечность, но зазор между корпусом компонента и платой при этом уменьшается.

6.2.2.2 Площадки, ограниченные паяльной маской (SMD) Из-за перекрытия паяльной маской для контактных площадок SMD требуется больший диаметр металлической площадки, чтобы получить тот же диаметр, что и у площадок MD. Паяное соединение определяется паяльной маской, создающей концентрацию напряжений (см. рисунок 6-4), но при этом зазор между компонентом и платой увеличивается. Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 6-5, на котором сравнивается геометрия соединений, полученных на площадках, ограниченных паяльной маской (слева) и металлом (справа). Концентрация напряжений на площадках, ограниченных паяльной маской, может привести к возникновению трещин на монтажной поверхности. Адгезия площадки SMD к плате выше, т.к. площадь медной поверхности и нанесенной паяльной маски больше. Основным недостатком площадок SMD является пониженная надежность; их срок службы по сравнению с площадками, не ограниченными паяльной маской (NSMD) меньше на 70%. В месте открытия паяльной маски возникает область повышенной концентрации напряжений. Основным преимуществом этого подхода является возможность предотвращения отслоения контактной площадки от платы. Явление "вспучивания" площадок, известное также как кратеринг - образование лунки - обычно наблюдается для угловых шариков. Поскольку интенсивность деформации угловых шариков выше, а следовательно, выше и вероятность разрушения, производители компонентов обычно предусматривают для них некритические функции (noncritical to function - CTF).

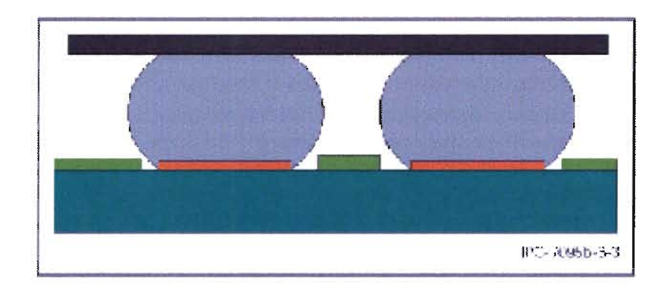


Рисунок 6-3 Профиль площадки, ограниченной металлом

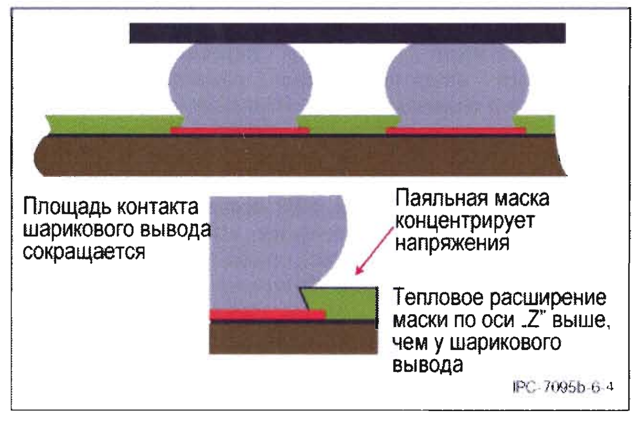


Рисунок 6-4 Концентрация напряжений на паяльной маске

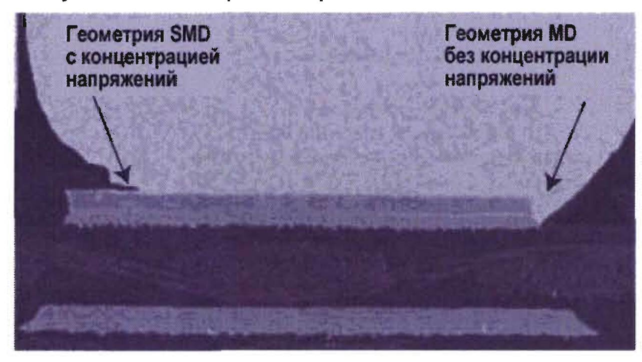


Рисунок 6-5 Сравнение геометрии паяного соединения

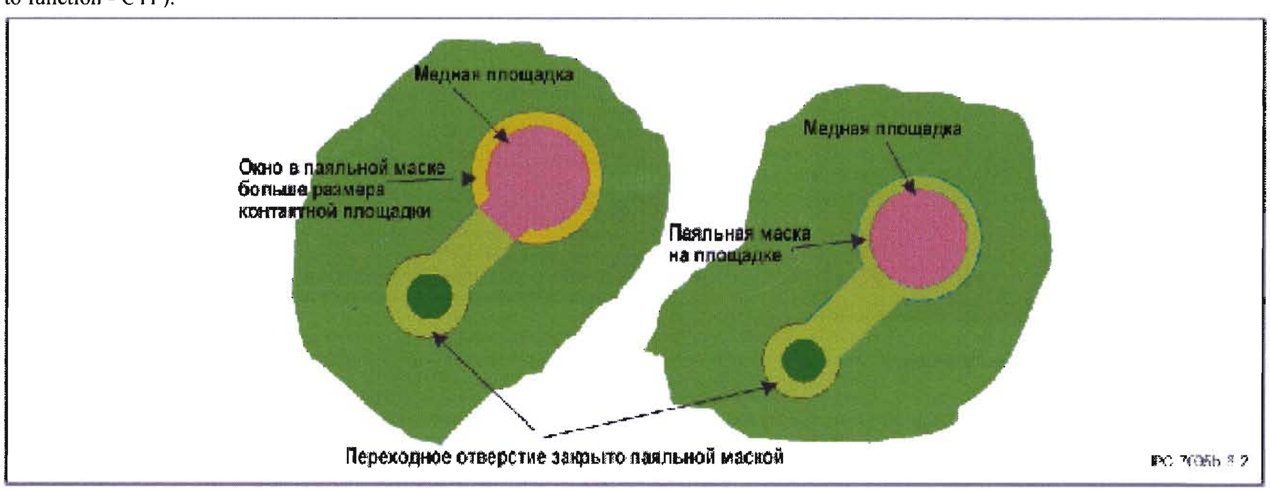


Рисунок 6-2 Контактные площадки компонентов BGA

При отсутствии неответственных в функциональном отношении (CTF) угловых шариковых выводов желательно в этих местах использовать контактные площадки SMD.

6.2.3 Ширина проводников Разводка дорожек для корпусов BGA зависит от ширины проводников. Чем шире проводники, тем меньше места для их прокладки между площадками. Никаких рекомендаций относительно максимальной ширины проводника для площадок SMD не существует. Для площадки NSMD максимальная ширина проводника равна 0,2 мм. Любой проводник большего размера приведет к фактическому изменению типа площадки на SMD. По этой же причине к любой площадке NSMD должен подходить только один проводник. Чтобы устранить острые углы, в месте соединения проводника с контактной площадкой следует использовать закругление.

6.2.4 Положение и размер переходных отверстий Переходные отверстия можно располагать между контактными площадками BGA. Площадки отверстий должны быть достаточно маленькими, чтобы обеспечить зазор достаточного размера между ними и соседними контактными площадками. Максимальный размер отверстия зависит от размера и типа (SMD или MD) используемой контактной площадки. Однако рекомендуется выбирать наименьший стандартный размер контактной площадки/диаметр отверстия для данной толщины платы. Отверстия с площадками 0,6 и отверстиями диаметром 0,35 мм обычно используются при установке корпусов BGA с шагом 1,5 и 1,27 мм, тогда как отверстия диаметром 0,5/0,25 мм используются для корпусов с шагом 1,0 и 0,75 мм.

Чтобы снизить риск образования перемычек между отверстиями и контактными площадками, отверстия должны быть тентированы или их контактные площадки должны быть закрыты паяльной маской.

Закрытие контактных площадок также снизит риск отслоения узких полос паяльной маски во время ремонта корпусов BGA. На рисунке 6-6 приведены примеры закрытых отверстий и узких полосок паяльных масок. Некоторые комбинации паяльных масок и финишных покрытий не обеспечивают надежного тентирования отверстий. Отверстие в паяльной маске в случае перекрытия только контактных площадок переходного отверстия должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить удаление флюса и других загрязнений в процессе производства. Перед планированием тентирования или перекрытия контактных площадок отверстий паяльной маской проконсультируйтесь с производителем платы. См. также рисунок 6-7.

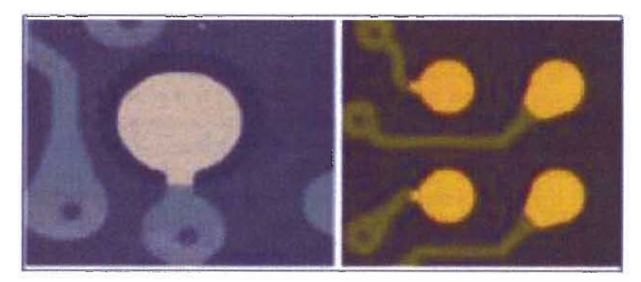


Рисунок 6-7 Примеры площадок, ограниченных металлом

Между контактными площадками BGA можно применять слепые переходные отверстия и микропереходные отверстия (микропереходы). Слепые переходы создаются простым сверлением, прожиганием лазером или фотоспособом при

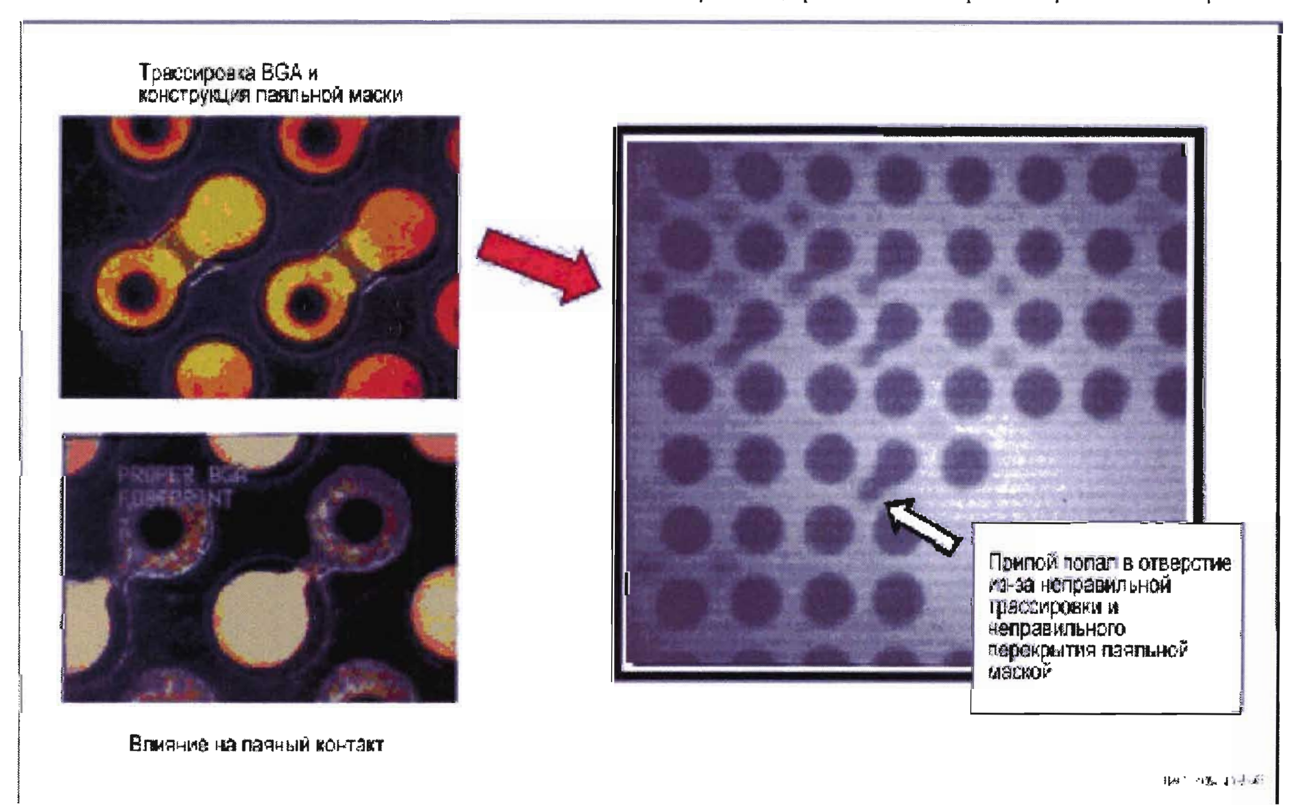


Рисунок 6-6 Правильная / неправильная конструкция паяльной маски

помощи сухих или жидких реактивов (плазмохимия). Внешние и внутренние слои собираются последовательно, а затем спрессовываются вместе. Поскольку отверстие проникает только во внешние слои, можно использовать сверла меньшего диаметра. Однако изготовление таких переходов обычно намного дороже. Слепые отверстия можно разместить между контактными площадками, но из-за меньшего размера площадок отверстий его центрирование между контактными площадками компонента не критично.

Микропереходы создаются во время вторичной обработки и проникают только во внешние слои. Стандартный микропереход соединяет слои 1 и 2 и / или n-1 и n. Типичное микропереходное отверстие имеет собственный диаметр 0,1 мм и диаметр площадки 0,3 мм. Из-за столь малого размера отверстие может быть просверлено в центре контактной площадки с единственным заметным признаком в виде небольшого углубления. Ввиду размещения отверстий непосредственно на площадке, пространство между контактными площадками BGA на внешних слоях может использоваться исключительно для трассировки проводников.

Перед трассировкой контактных площадок BGA с использованием слепых и микропереходных отверстий следует обязательно проконсультироваться с изготовителем печатных плат.

6.3 Стратегия разводки проводников и переходов В отличие от корпусов с периметрическим расположением выводов, доступ к контактам BGA на верхнем слое платы затруднен. Это особенно верно для больших корпусов BGA с полной матрицей выводов. Для вывода сигнальных проводников изнутри корпусов наружу могут потребоваться дополнительные слои.

Например, корпус PBGA с шагом 1,27 мм с 357 контактами имеет матрицу выводов 19x19 без угловых выводов. Если используются контактные площадки 0,63 мм, между площадками остается только 0,63 мм для разводки проводников. В этом случае между контактными площадками допускается прокладка проводников шириной 0,2 мм, это означает, что можно проложить проводники только от двух внешних рядов (всего 136 выводов) корпуса на верхнем слое. Остальные выводы (всего 221) придется разводить по другим слоям, соединяясь с ними при помощи переходных отверстий. Если используются проводники/промежутки шириной 125 мкм, между площадками можно проложить два проводника, что позволит проложить проводники на верхнем слое от трех внешних рядов (всего 192 вывода), а оставшиеся выводы (всего 165) вывести с помощью переходных отверстий.

Топология переходных отверстий требует гораздо более плотной компоновки, поскольку шаг выводов BGA, FBGA и CSP уменьшается.

На рисунке конфигурации фанаутов *) должен быть виден характерный крест для подачи питания. В некоторых случаях развязка цепей питания осуществляется без использования крестовидной конфигурации фанаутов при разводке посадочного места BGA; для этого используются просветы, создающие экран вокруг внутренних выводов питания. Крестовидная конфигурация позволяет также выполнять трассировку внутренних цепей под корпусом BGA (см. рисунок 6-8). Правильное выполнение разводки посадочного места BGA предусматривает следующее:

- Совпадение сетки размещения компонентов с сеткой фанаутов везде, где это возможно

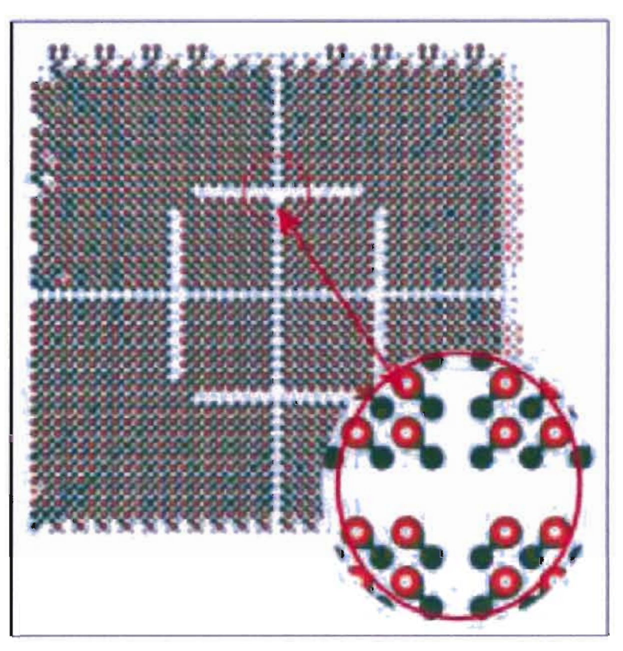


Рисунок 6-8 Квадранты на топологии посадочного места BGA; фанауты имеют вид dog bone ("собачья косточка")

- Защиту переходов фанаутов BGA во время трассировки
- Соблюдение правильных размеров переходов и контактных площадок

В другом методе проектирования посадочного места BGA не выполняется разводка фанаутов для периметральных выводов, занимающих на корпусе BGA два внешних ряда и столбца. Для двух внешних рядов задайте трассировщику менее строгий набор правил расстановки переходов, принадлежащих фанаутам. Два внешних ряда "нестрогих" фанаутов образуют вокруг BGA конфигурацию, напоминающую посадочное место для корпуса типа dip, что позволяет выполнить автоматическую трассировку. Пространство между этой dip-топологией и топологией BGA позволяет не принадлежащим к BGA цепям пересекать занимаемый корпусом участок, и необходимости сдвигать внутреннюю конфигурацию фанаутов BGA при этом не возникает. Этим методом можно воспользоваться в случае возникновения трудностей при трассировке плат с корпусами BGA.

Чтобы упростить разводку, выводы питания и заземления можно разместить в центре матрицы, чтобы они соединялись непосредственно с отверстиями и не мешали разводке проводников возле внешних краев корпуса.

Корпуса с матрицей шариковых выводов могут иметь квадратную или прямоугольную форму. В матрице квадратной формы количество рядов равно количеству столбцов. Квадратная матрица 4x4 показана на рисунке 6-9.

В матрице прямоугольной формы количество рядов не равно количеству столбцов. Прямоугольная матрица 4x5 показана на рисунке 6-10.

Матрицы могут быть либо полностью заполнены выводами, либо определенные позиции могут оставаться пустыми. Прямоугольная матрица выводов 4x5, в которой центральный столбец не используется, пустой или разреженный, показана на рисунке 6-11.

Квадратная матрица 4x4, в которой некоторые шариковые выводы пропущены, пусты или разрежены, показана на рисунке 6-12.

Сравнительно просто вывести проводники от внешних шариковых выводов для связи с внешними устройствами.

*) фанаут (fanout) - короткий отрезок проводника с переходным отверстием на конце, предназначенный для упрощения автоматической трассировки компонентов с планарными выводами

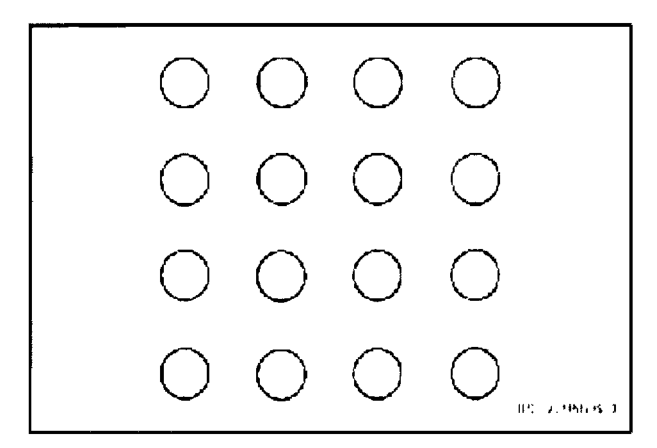


Рисунок 6-9 Квадратная матрица

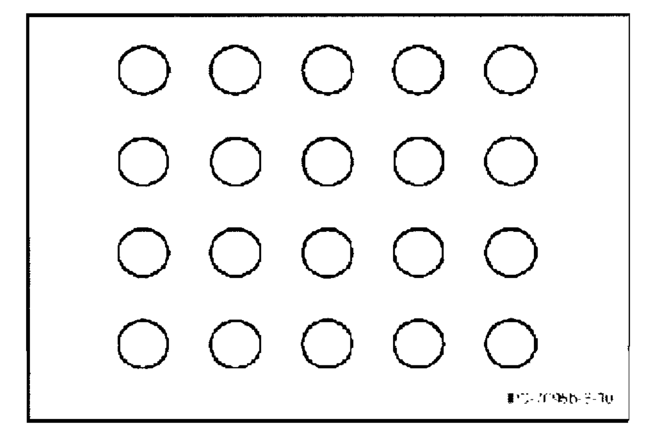


Рисунок 6-10 Прямоугольная матрица

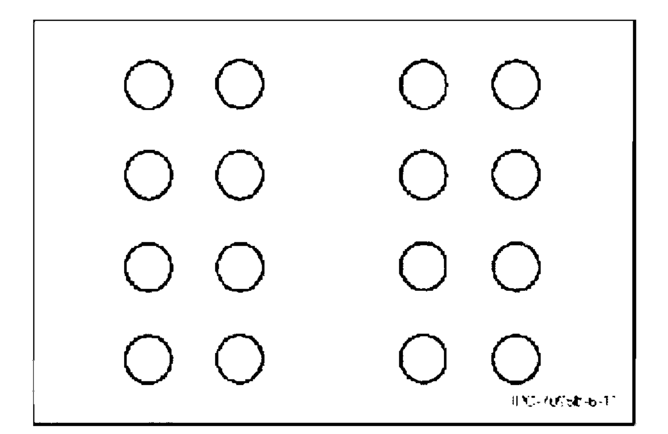


Рисунок 6-11 Разреженная матрица

Но проводники от внутренних выводов матрицы нужно выводить между внешними шариковыми выводами.

При увеличении размера матрицы увеличивается и количество проводников, которые необходимо вывести от внутренних выводов для соединения с внешней схемой. Для разработчиков плат важно знать, сколько проводников необходимо разместить в промежутках между соседними шариковыми выводами, чтобы они смогли определить ширину проводников и промежутков между ними.

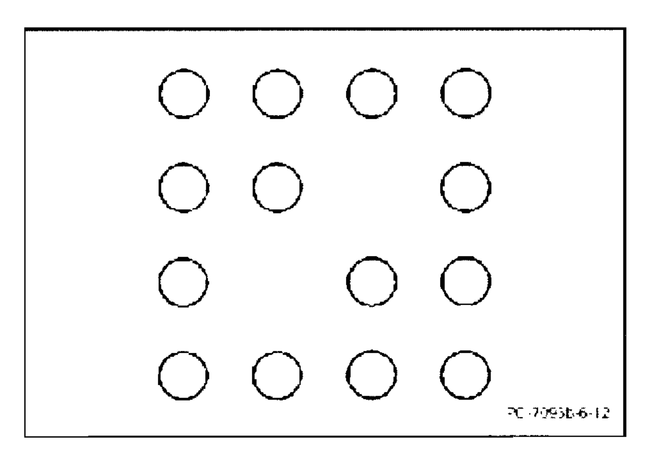


Рисунок 6-12 Квадратная матрица с пропущенными выводами

Эта информация поможет моделировать надежность передачи сигнала, чтобы изготовить качественное устройство.

Количество выходных проводников C для простой матрицы r x c можно определить, подставив в следующее соотношение количество рядов и столбцов выводов в виде величин r и c, и количество пропущенных выводов в виде величины d.

$$C = \frac{[(r-2)(c-2)]-d}{2(r+c-2)}$$

Если в данной формуле получается целое число C, между каждыми соседними шариковыми выводами необходимо развести C проводников. Если C – дробное число, между одними выводами потребуется размещение округленного до меньшего числа проводников C, а между другими – до большего числа проводников C. Дробь – это пропорция между меньшим и большим числом проводников на вывод.

Шариковые выводы матрицы могут быть распределены и по диагонали. Пример диагональной матрицы 5x5 приведен на рисунке 6-13.

Для определения числа проводников на выход для диагональной матрицы может быть использована следующая зависимость.

$$C = \frac{[(r-2)(c-2)+(r-1)(c-1)]-d}{2(r+c-2)}$$

Если число C дробное, округление его до меньшего значения даст минимальное количество проводников между соседними выводами, а округление до большего значения даст максимальное число проводников, которое необходимо развести между выводами. Дробь представляет собой отношение двух чисел.

Размеры контактных площадок и площадок переходных отверстий также влияют на возможности вывода проводников от корпусов BGA. Если контактная площадка имеет размер 0,8 мм, а шаг составляет 1,27 мм, то между площадками остается только 0,5 мм для разводки проводников. Чтобы развести два проводника между контактными площадками, необходимо

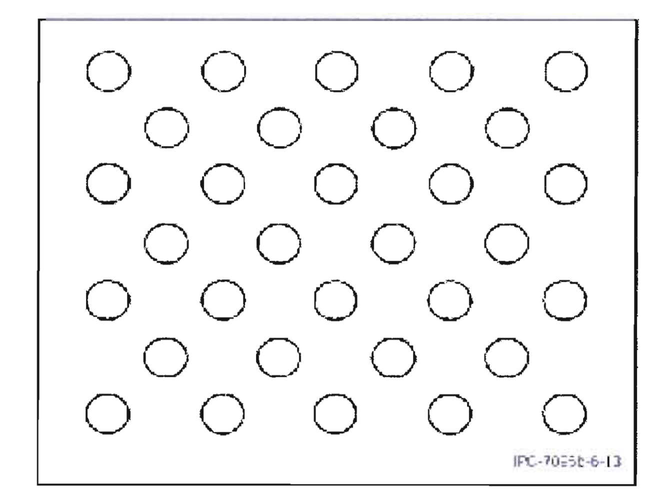


Рисунок 6-13 Диагональная матрица

использовать проводники / промежутки шириной 100/100 мкм. Однако если используются контактные площадки 0,6 мм, между ними можно провести два проводника шириной 125/125 (проводник / промежуток).

Из-за малого пространства между контактными площадками корпусов BGA с малым шагом выводов (1,00 мм и меньше) необходимо также использовать переходные отверстия меньшего диаметра. С уменьшением диаметра отверстий уменьшается и максимально допустимая толщина платы. Это может заставить разработчиков плат использовать меньше слоев или уменьшить толщину диэлектрика между слоями.

Если используются микропереходные отверстия, в качестве сигнальных слоев можно использовать два внешних слоя ПП.

6.3.1 Стратегия разводки межслойных соединений В таблице 6-4 приведены варианты стратегии разводки для полных матриц.

Чтобы установить кристалл с матричным расположением контактных площадок с шагом 0,25 мм по технологии flip chip в корпусе BGA, необходимо, чтобы с верхней стороны подложки шаг между контактными площадками составлял 0,25 мм, а с нижней стороны расстояние между шариковыми выводами составляло 1,27 или 1,00 мм. Для соединения противоположных контактных площадок могут использоваться межслойные проводники и перемычки в подложке (интегральные схемы высокой плотности) или металлизированные монтажные отверстия.

Может возникнуть необходимость разводки одного или нескольких соединительных проводников между двумя соседними контактными площадками на верхней поверхности подложки BGA. Это делается с целью доступа к нескольким рядам внутренних контактных площадок для возможного соединения межслойных проводников или металлизированных сквозных отверстий с шариковыми выводами с нижней стороны. При проектировании многоуровневой разводки необходимо использовать очень жесткие топологические нормы (см. рисунок 6-14).

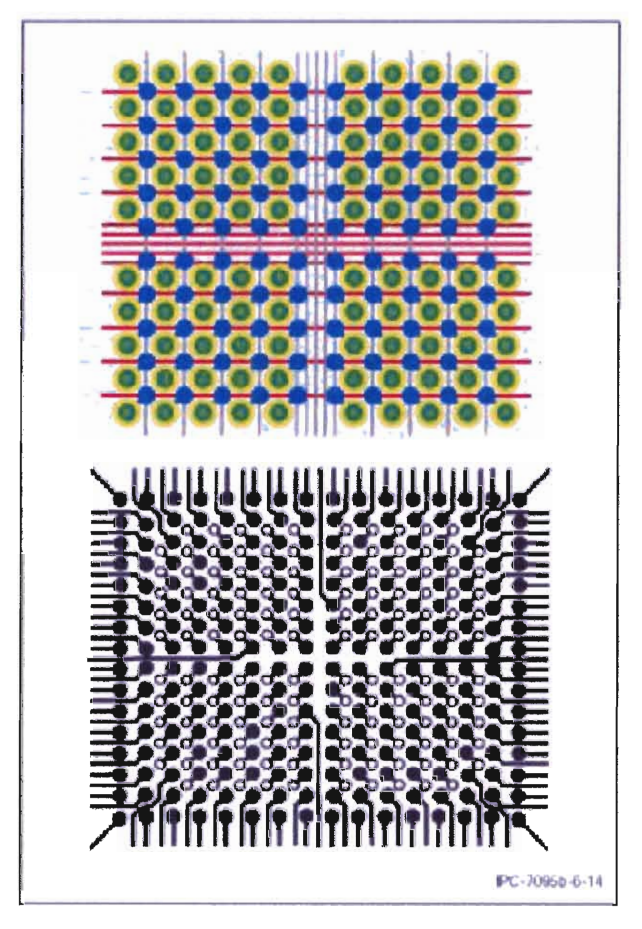


Рисунок 6-14 Стратегия разводки проводников

Таблица 6-4 Стратегия разводки межслойных соединений для полных матриц

Составные части полной матрицы					
Шаг (мм)	**Номинальный диаметр шарика (мм)**	**Разводка на поверхности**	**Сквозные переходы Dog bone**	**Dog bone с микропереходами**	**Микропереход в площадке**
1.27	0.75	Y	Y	Y	Y
1.0	0.45 - 0.6	Y	Y	Y	Y
0.8	0.3-0.5	Y	Y	Y	Y
0.75	0.3 - 0.45	N	H, S	Y	Y
0.65	0.3-0.4	N	N	Y	Y
0.5	0.3	N	N	N	Y

Примечания:
Подробности о ширине каналов трассировки см. в таблицах 6-5 - 6-7
Принятые диаметры переходных отверстий и размеры площадок приведены в таблицах 6-8 - 6-10
Y = да, с использованием "стандартных' возможностей изготовления плат и стандартных размеров площадок
H = требуются высокоэффективные средства для производства плат
S = требуется сокращение размеров площадок
N = не практикуется при организации проектирования и технологических процессов по промышленным стандартам

Для высокочастотных кристаллов с количеством выводов до 1700 требуется корпус BGA с очень плотной разводкой на каждом слое. Размеры таких корпусов BGA составляют 50 мм. По всей вероятности, в середине таких корпусов количество шариковых выводов необходимо уменьшать. В подложке такого устройства может потребоваться шаг 1,00 мм для межслойных проводников и шариковых выводов; плотность выводов будет составлять 100 контактов на квадратный сантиметр.

6.3.2 Разводка проводников на поверхности В таблицах 6-5, 6-6 и 6-7 приводятся характеристики трассировки проводников при различном шаге выводов BGA.

Таблица 6-5 Разводка проводников - шаг 1.27 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.75
Диаметр типичной контактной площадки (мм)		0.55
Расстояние между проводниками (мкм)	150	2
	125	2
	100	3
	75	4

Таблица 6-6 Разводка проводников - шаг 1.00 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.6	0.5	0.45
Диаметр тип. контактной площадки (мм)		0.45	0.40	0.35
Расстояние между проводниками (мкм)	150	1	1	1
	125	1	1	2
	100	2	2	2
	75	3	3	3

Таблица 6-7 Разводка проводников - шаг 0.8 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.45	0.4	0.3
Диаметр тип. контактной площадки (мм)		0.35	0.3	0.25
Расстояние между проводниками (мкм)	150	1	1	1
	125	1	1	1
	100	1	2	2
	75	1	2	3

6.3.3 Сквозные переходы Dog Bone В таблицах 6-8, 6-9 и 6-10 приводятся сведения по разводке проводников с использованием технологии переходов dogbone. Данные объединены в таблицах по шагу размещения переходов.

Таблица 6-8 Разводка проводников - шаг 1.27 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.75
Диаметр типичной контактной площадки (мм)		0.55
Диаметр отверстия	0.35 мм [0.0135 дюйма]	Y
	0.3 мм [0.012 дюйма]	Y

Таблица 6-9 Разводка проводников - шаг 1.00 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.6	0.5	0.45
Диаметр тип. контактной площадки (мм)		0.45	0.40	0.35
Диаметр отверстия	0.35 мм [0.0135 дюйма]	N	N	Y
	0.3 мм [0.012 дюйма]	N	Y	Y
	0.25 мм [0.010 дюйма]	Y	Y	Y
	0.2 мм [0.008 дюйма]	Y	Y	Y

Таблица 6-10 Разводка проводников - шаг 0.8 мм

Номинальный диаметр шарика (мм)		0.45	0.4	0.3
Диаметр тип. контактной площадки (мм)		0.35	0.3	0.25
Диаметр отверстия	0.35 мм [0.0135 дюйма]	N	N	N
	0.3 мм [0.012 дюйма]	N	N	N
	0.25 мм [0.010 дюйма]	N	Y	Y
	0.2 мм [0.008 дюйма]	Y	Y	Y

6.3.4 Проектирование с учетом механических напряжений Механические напряжения и деформация платы являются основными причинами разрушения соединений BGA с платой. Разработано несколько стратегий разводки топологии, которые помогают уменьшить влияние механических напряжений на компоненты BGA.

Печатные платы:

• Разделите каждый корпус на четыре равных квадранта при помощи линий, параллельных его сторонам. В каждом из квадрантов выполните разводку проводников и фанаутов от площадок BGA к межслойным переходам таким образом, чтобы они были направлены радиально под углами 45 градусов (см. рисунок 6-15). Этот прием повышает уровень напряжений, которые угловые площадки способны выдерживать без разрушения.

• Увеличьте размер дорожек или количество припоя на проводниках, проходящих к угловым контактным площадкам BGA.

Электронные сборки и блоки:

• Не размещайте винты вблизи углов BGA на одной линии с диагоналями корпуса (см. рисунок 6-16, положения отмечены красным цветом).

• Винты и втулки предпочтительно размещать на линиях, проходящих через середину боковых сторон BGA перпендикулярно им (см. рисунок 6-16, положения отмечены зеленым цветом).

• Используйте разъемы с жестким корпусом; обеспечьте поддержку сборки с обеих сторон, особенно при использовании разъемов, для подключения и отключения которых требуются значительные усилия (см. рисунок 6-17).

• Устанавливайте под головки винтов шайбы, размер которых не превышает наружный диаметр втулки, чтобы свести к минимуму деформацию платы на кручение.

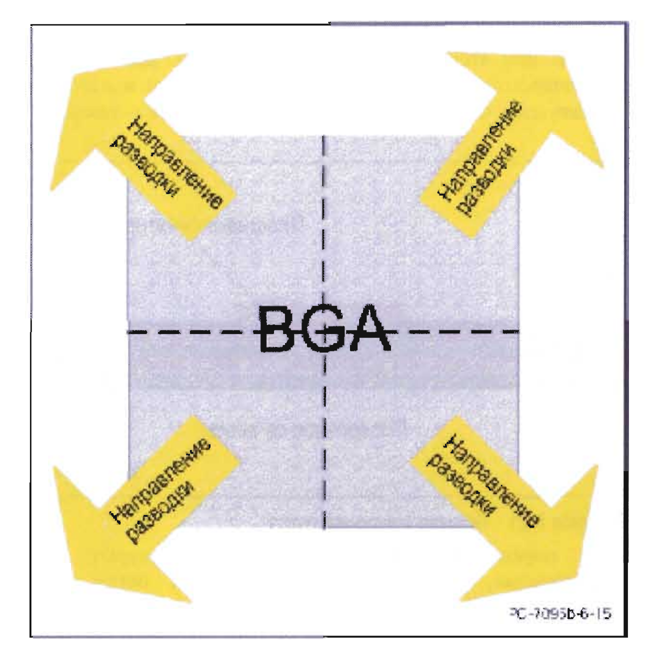


Рисунок 6-15 Предпочтительное направление ориентации площадок и переходов BGA для разводки проводников

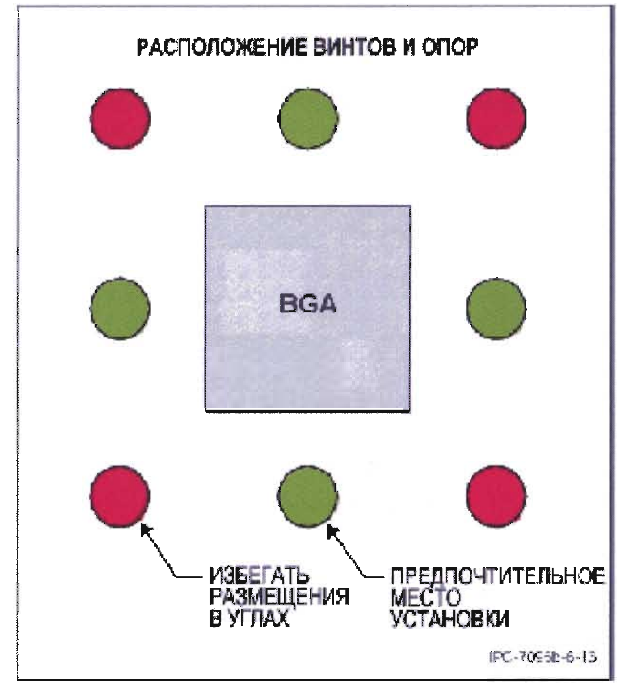


Рисунок 6-16 Предпочтительная компоновка винтов и опор

6.3.5 Незакрытые переходные отверстия в контактных площадках и их влияние на надежность Переходные отверстия, выполненные в контактных площадках (сквозные отверстия, закрытые с нижней стороны платы) компонентов BGA, могут привести к образованию пустот в шариковых выводах, что отрицательно повлияет на надежность соединения. По имеющимся данным для стандартного корпуса 25-35 мм с шариками 0,75 мм пустоты в выводах не представляют опасности. В результате ускоренных испытаний на старение полученный процент отказов оказался таким же, как и у стандартных конструкций (dogbone). По-видимому, на надежность паяного соединения больше влияет характер



Рисунок 6-17 Расположение винтов разъема

расположения пустот в выводах, чем их размер. Иллюстрация данной проблемы приведена на рисунках 6-18 и 6-19.

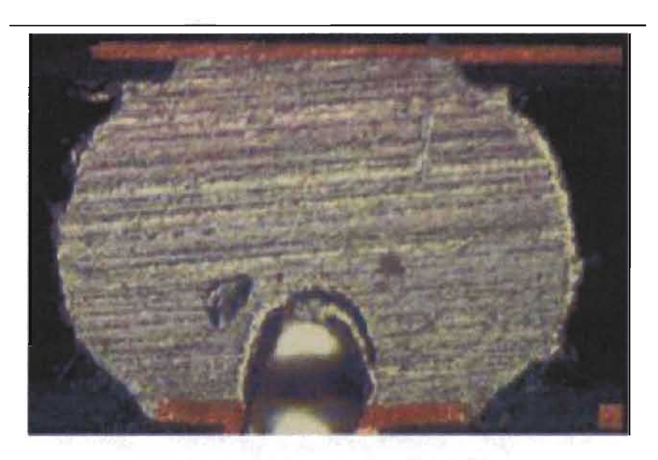


Рисунок 6-18 Конструкция шарика 0,75 мм с отверстием в контактной площадке в разрезе (зазубрина вверху слева - искажение)

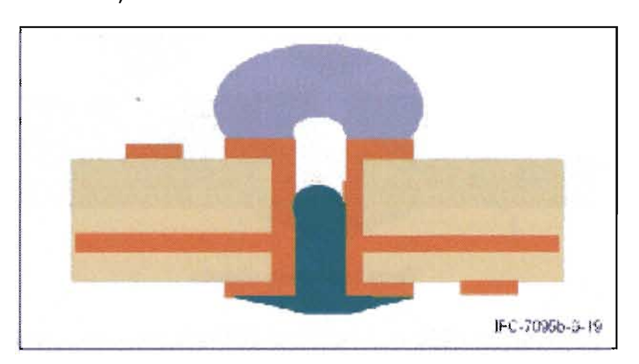


Рисунок 6 -19 Закрытое отверстие в контактной площадке с шариковым выводом в разрезе

Переходные отверстия, закрытые с одной стороны, могут стать причиной возникновения различных проблем надежности. Необходимо оценить значимость каждой из них по конкретным критериям проектирования, учитывающим влияние внешних условий:

- отверстие может быть заполнено частично, что создает неоднородность напряжений
- пустота может занимать значительную часть площади соединения, снижая опорную прочность конструкции
- пустота может понизить теплопроводность

Если используются отверстия в контактных площадках, в выводе образуется пустота, как показано на рисунке 6-19, если отверстие не закрыто со стороны установки компонента на плату.

Большинство экспертов согласны с тем, что эти пустоты, возникающие из-за захваченного воздуха, допустимы и не влияют на надежность паяного соединения. Несомненно, что пустоты зависят не только от технологического процесса, но и от размера площадки BGA и диаметра отверстия. Кроме того, важно, является ли отверстие сквозным, слепым или микроотверстием. На рисунке 6-20 показаны состояния трех видов отверстий в начале, после нанесения паяльной пасты и установки корпуса BGA, состояние шарика и отверстия во время пайки и по ее окончании; структура полученного паяного соединения.

Одной из главных причин возникновения пустот является захват газа, образующегося из паяльной пасты во время нанесения и установки корпуса BGA. Во время пайки оставшийся в отверстии газ и летучие вещества из паяльной пасты стремятся покинуть замкнутое пространство, что создает незначительное уменьшение количества припоя в центральной части шарика, как показано на иллюстрации.

6.3.6 Стратегия проектирования микропереходов в контактных площадках FBGA

При шаге выводов менее 0.8 мм остается недостаточно пространства для размещения перехода с использованием технологии механического сверления, применяемой для компонентов BGA с полной матрицей. Для BGA с уменьшенным шагом выводов, либо с целью получить дополнительную площадь для трассировки, может потребоваться использование микропереходов, создаваемых на площадке (microvia-in-pad).

Они представляют собой глухие отверстия, соединенные с первым или вторым слоем печатной платы. Для сверления микропереходов обычно применяется лазер, но в некоторых случаях сверление выполняется механически (см. рисунок 6-21).

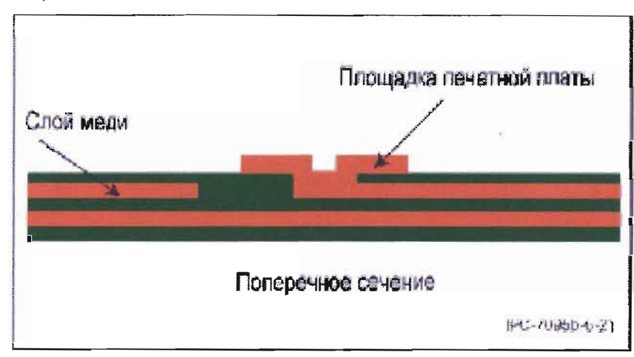


Рисунок 6-21 Пример микроперехода

Если переход не был заполнен или перекрыт слоем металлизации, то воздух, который может остаться под паяльной пастой, при оплавлении шарикового вывода образует пустоты. Для контактных площадок MD, имеющих трещину в микропереходе, распространение трещины начинается от раковины, связанной с переходом и продолжается до наружной поверхности шарика (см. рисунок 6-22).

Было показано, что эти пустоты понижают величину выдерживаемых паяным соединением напряжений по сравнению с контактной площадкой MD, не содержащей перехода. По этой причине не рекомендуется использовать

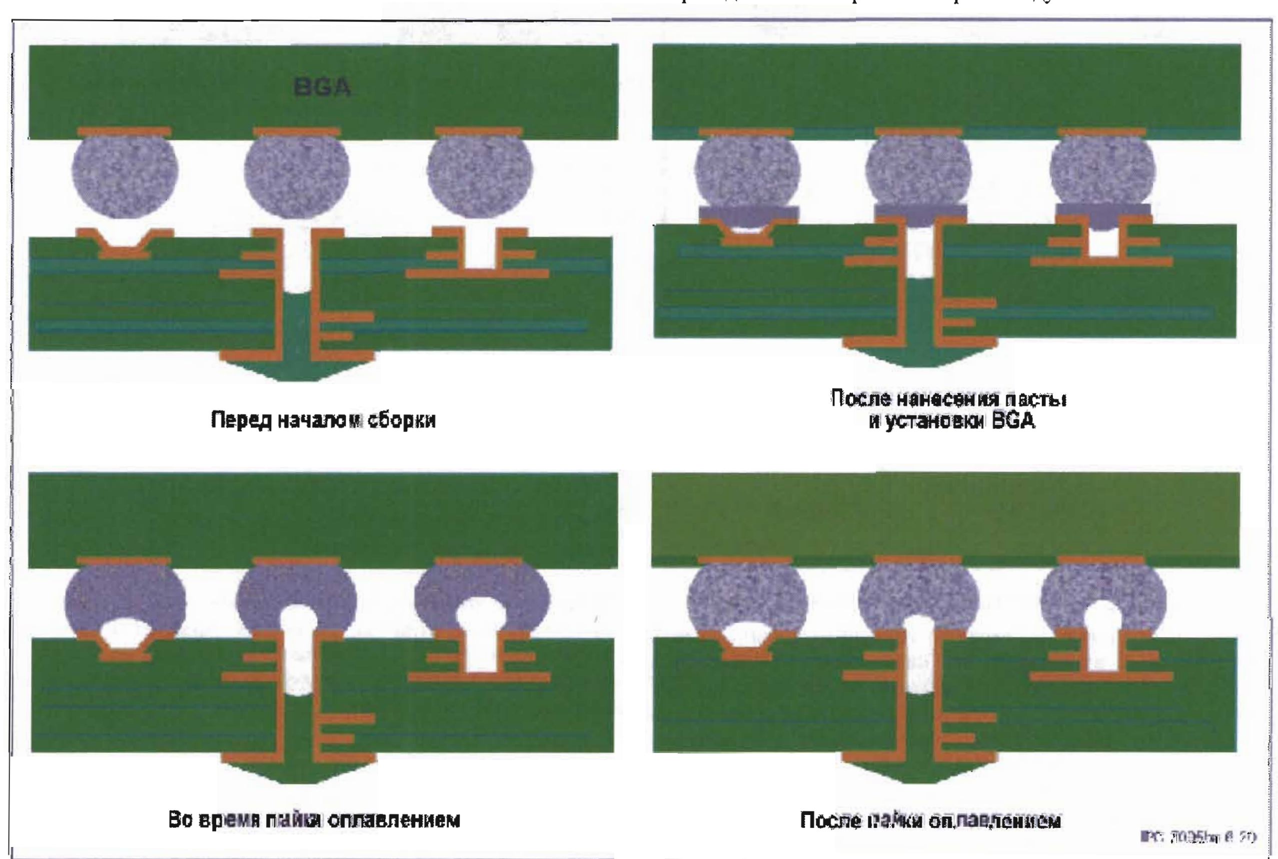


Рисунок 6-20 Последовательность создания перехода в площадке

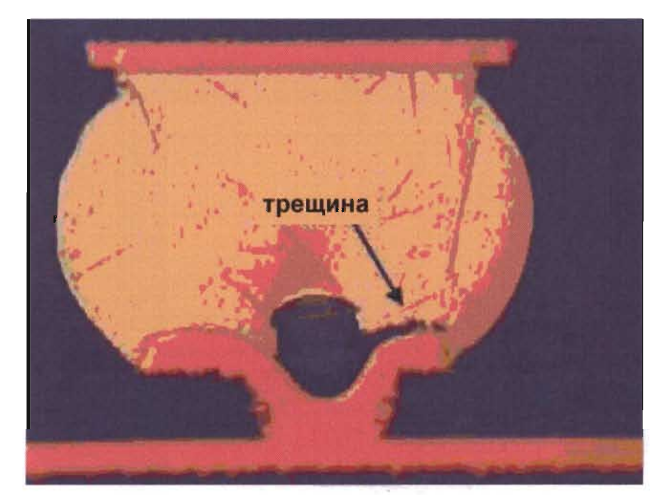


Рисунок 6-22 Образование пустот в микропереходах на площадке

переходы в площадках для шариковых выводов, подверженных воздействию механических напряжений, в частности, угловых выводов или расположенных непосредственно под краями кристалла.

6.3.7 Подключение к питанию или заземлению При необходимости создать площадку в слое заземления или питания обычной практикой является выполнение отверстия в паяльной маске для обеспечения доступа к площадке. Если в этих местах требуется повышенная усталостная прочность или термоизоляция, то в слое можно создать площадку MD, получаемую путем вытравливания серповидного рельефного рисунка вокруг площадки (см. рисунок 6-23). Перемычки сегментов, независимо от их количества - 2,3 или 4, должны быть сориентированы в направлении углов BGA для обеспечения максимальной усталостной прочности.

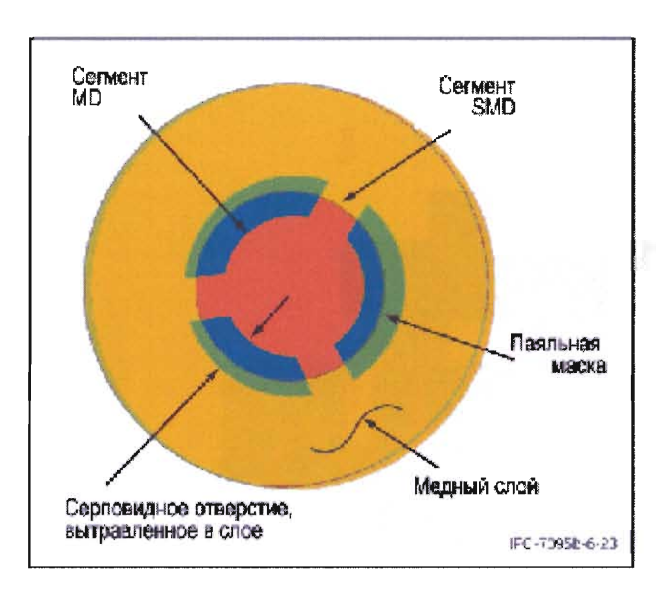


Рисунок 6-23 Подключение BGA к питанию или заземлению

6.4 Воздействие волны припоя на компоненты BGA, установленные на верхней стороне платы

6.4.1 Пайка оплавлением верхней стороны В печатных платах, изготавливаемых по смешанной технологии, обычно вначале паяются оплавлением корпуса с верхней стороны платы, а затем волной припоя производится пайка компонентов, устанавливаемых в сквозные отверстия (вставляются сверху) и SMT-компонентов, устанавливаемых с обратной стороны платы. Однако во время пайки волной припоя также нагреваются и компоненты, припаянные сверху. Если при этом температура поднимается до точки плавления припоя, паяные соединения этих компонентов могут расплавиться. Поэтому необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать увеличения температуры выводов до температуры ликвидуса припоя.

6.4.2 Последствия оплавления паяных соединений с верхней стороны платы Паяные выводы корпусов BGA требуют в этом отношении особого внимания, поскольку они находятся под механическим напряжением во время пайки волной припоя. Если паяные соединения нагреваются до температуры солидуса (183°C для эвтектических оловянно-свинцовых припоев; 217°C для сплава SAC), то появляется вероятность несмачивания или отрыва выводов от корпуса или платы из-за термомеханических напряжений, возникающих при повышении температуры. Поскольку уже при приближении температуры к точке солидуса припой становится очень мягким, может возникнуть холодная пайка, несмачивание припоем или деформация шарикового вывода, даже если они и не нагреваются непосредственно до температуры солидуса.

На рисунке 6-24 показан пример деформации шарикового вывода и несмачивания припоем у компонента BGA, установленного на верхней стороне материнской платы. Температура припаянных выводов BGA во время пайки волной припоя достигла пикового значения 180°C. Корпуса BGA больше подвержены таким дефектам, чем компоненты поверхностного монтажа с периметрическим расположением выводов, поскольку для них эффект снятия напряжений выражен в меньшей степени.

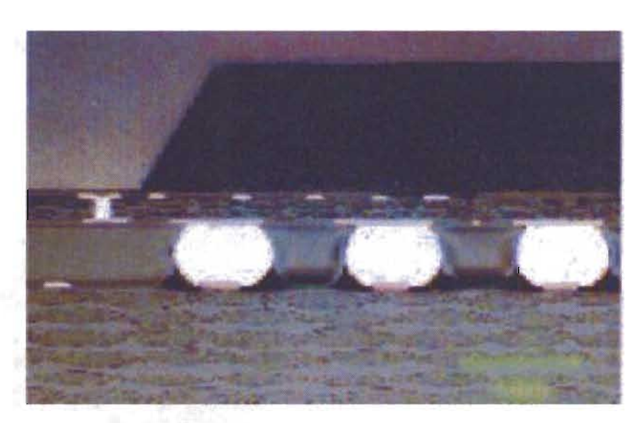


Рисунок 6-24 Пример соединений, получаемых оплавлением припоя сверху

Чтобы избежать проблем с паяными выводами BGA на верхней стороне платы, во время пайки волной припоя температура их нагрева не должна превышать 150°C при использовании оловянно-свинцовых припоев и 190°C при использовании бессвинцовых сплавов. Это ниже, чем максимальная допустимая температура для компонентов с периметрическим расположением выводов с малым шагом, например, пластиковых QFP.

На рисунке 6-25 приведен пример допустимого температурного профиля нагрева шариковых выводов при пайке волной припоя плат, изготавливаемых по смешанной технологии.

Чтобы оценить различные методы поддержания температуры ниже 150°C (или 190°C для бессвинцовых сплавов), сначала

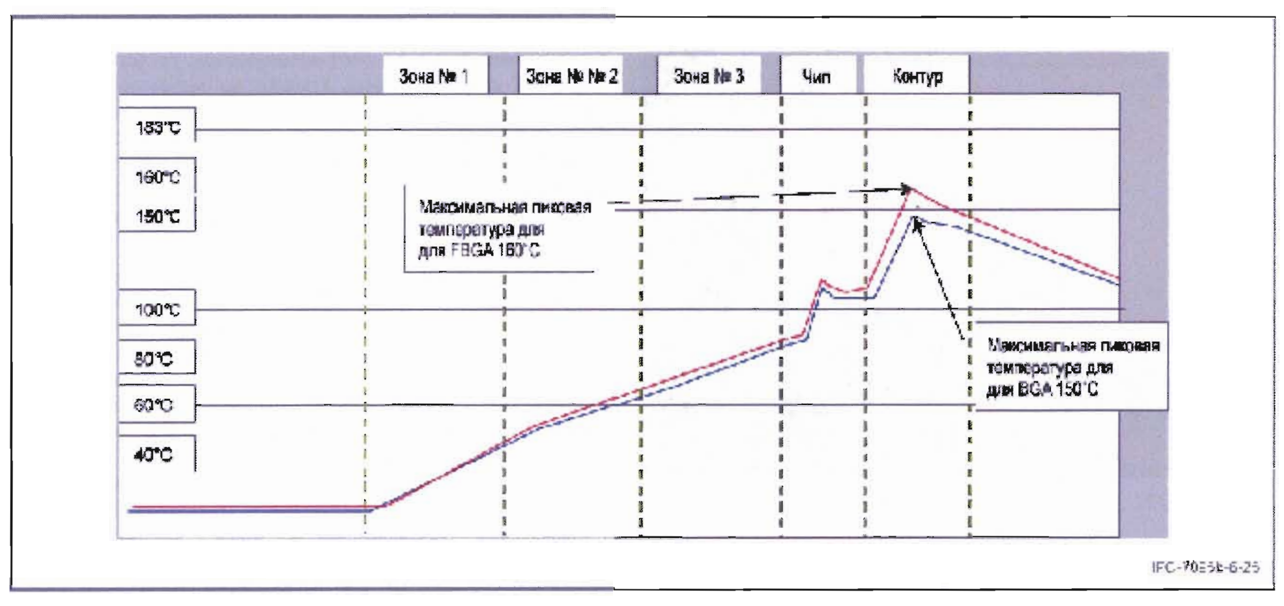


Рисунок 6-25 Пример температурного профиля нагрева верхней стороны платы со смешанным монтажом при пайке волной припоя

следует определить причины нагрева паяных выводов BGA во время пайки волной припоя. На рисунке 6-26 изображены три направления распространения тепла. Направление А – теплопередача через печатную плату в направлении снизу вверх. Направление В – теплопередача через металлизацию переходного отверстия вдоль проводника, соединяющегося с контактной площадкой вывода BGA. Направление С – теплопередача путем конвекции и излучения от верхних нагревателей зоны предварительного нагрева установки пайки волной припоя.

6.4.3 Способы предотвращения оплавления припоя с верхней стороны платы Эти способы предназначены для снижения теплопередачи на паяные соединения BGA по одному или нескольким из трех направлений, описанных выше. Схематично эти способы показаны на рисунке 6-27. Поверх корпуса BGA можно установить тепловой экран, чтобы избежать непосредственного воздействия нагревателей зоны предварительного нагрева установки пайки волной припоя. Эти экраны могут механически крепиться на палеты.

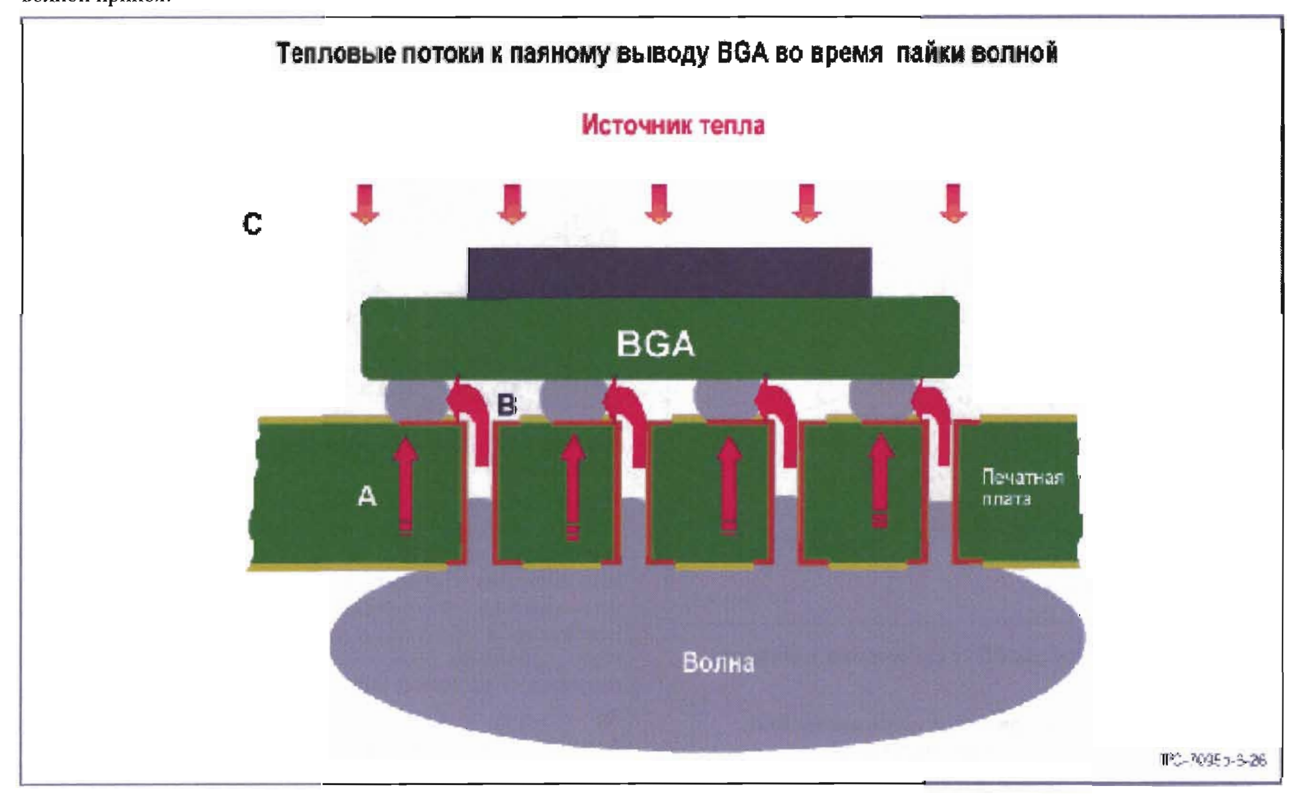


Рисунок 6-26 Направления передачи тепла к выводам компонентов BGA во время пайки волной припоя

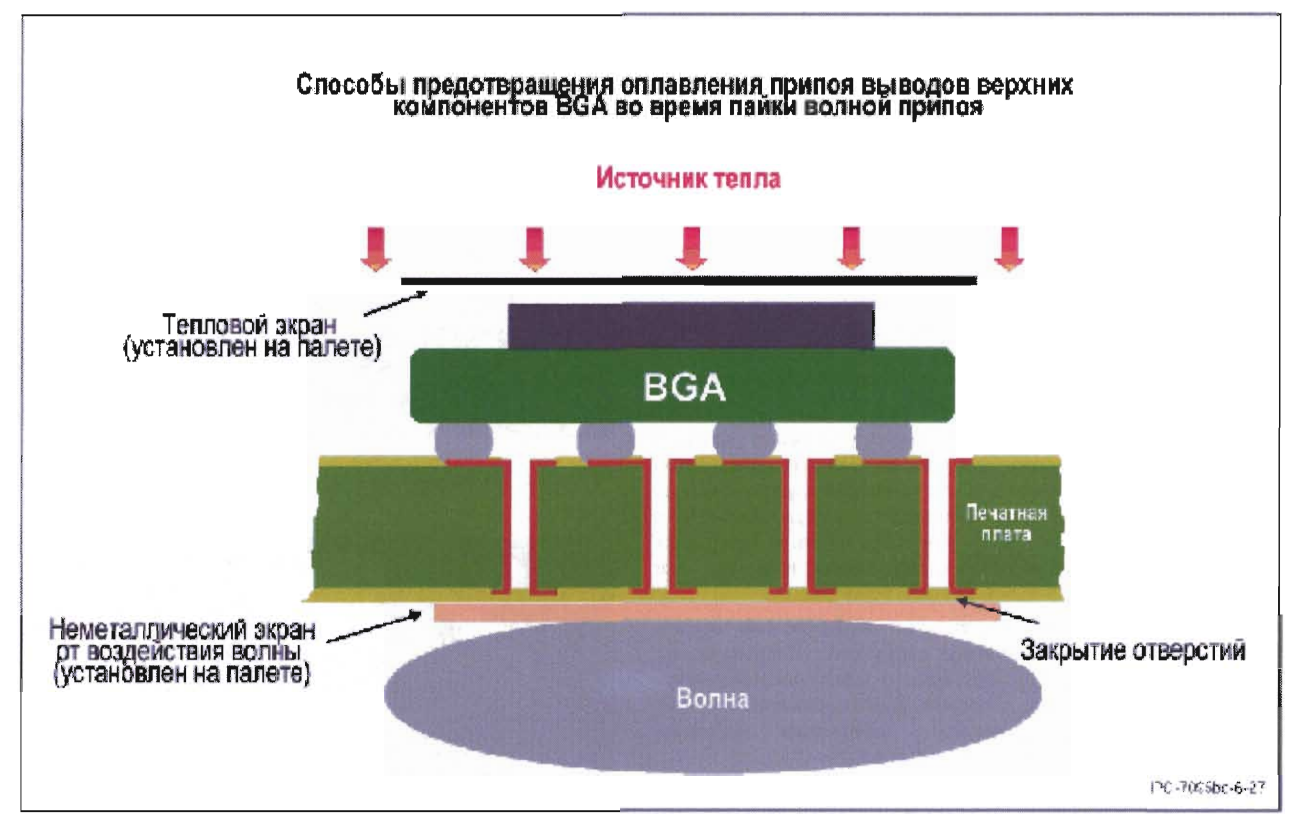


Рисунок 6-27 Способы предотвращения оплавления припоя выводов компонентов BGA с верхней стороны платы

Второй способ – закрытие отверстий паяльной маской с нижней стороны платы. Процесс закрытия отверстий очень часто применяется при изготовлении плат по различным причинам. Технология закрытия отверстий должна быть учтена в процессе проектирования с учетом технологических требований (Design for Manufacturability (DFM)).

Обязательно следует закрывать переходные отверстия, соединенные с контактной площадкой BGA коротким проводником, или соединенные со слоем платы.

Третий способ – установка непосредственно под корпус BGA с нижней стороны платы неметаллического экрана, чтобы избежать касания волной этого места на плате. Эти экраны устанавливаются на палеты для пайки волной припоя при помощи неметаллических штифтов.

На отдельных палетах может использоваться твердый материал под BGA, препятствующий контакту припоя с нижней стороной платы и передаче тепла вверх по переходам к площадкам. Таким образом предотвращается вторичное оплавление соединений BGA.

Эффективность каждого их этих методов необходимо проверить путем измерения температурной кривой нагрева паяных выводов BGA во время проведения пайки волной припоя, чтобы убедиться, что температура нагрева припоя не превышает 150°C.

6.4.4 Повторное оплавление верхней стороны при пайке бессвинцовым припоем Большинство используемых бессвинцовых припоев, включая распространенные припои из сплава SnAgCu (олово – серебро - медь), имеют температуру плавления выше, чем эвтектический припой SnPb (олово – свинец). Поэтому вероятность повторного оплавления бессвинцового припоя на уже запаянных с верхней стороны компонентов во время пайки волной значительно снижается. Для припоев SnAgCu максимальная температура припоя на верхней стороне платы может достигать 190°C без какого-либо влияния на паяные соединения BGA.

6.5 Контролепригодность и доступность тестовых точек Разные конструкции контактов тестовых адаптеров для контроля компонентов в корпусе BGA по-разному влияют на качество и надежность электрического контакта, возможность контактирования и последующую паяемость. Однако если размер контакта минимален, этим влиянием можно пренебречь.

6.5.1 Контроль компонентов С уменьшением шага и размера шариковых выводов BGA производители сталкиваются с возрастающей сложностью создания адаптеров для адекватного контроля компонентов BGA. Производителям приходится работать с огромным количеством различных конструкций адаптеров для корпусов BGA с субмиллиметровым шагом выводов.

Одной из главных задач является обеспечение контакта со всеми шариковыми выводами BGA. Во время установки на ПП шариковые выводы расплавляются и самоцентрируются на соответствующих контактных площадках ПП. Поэтому в компонентах BGA, предназначенных для установки на плату, допуски на размещения шариковых выводов нежесткие. Но эти допуски необходимо ужесточить при проведении тестирования и испытаний под нагрузкой, поскольку автоматического совмещения шариковых выводов и контактов адаптера не происходит.

При проектировании контактов адаптеров необходимо учитывать различие высоты шариковых выводов. Большое отклонение значений высоты выводов требует такой же большой зоны действия контактов адаптеров, кроме того, шариковые выводы во время контроля более уязвимы. Испытания BGA под нагрузкой проводятся при повышенной температуре. Воздействие температуры в течение времени проведения нагрузочных испытаний приведет к размягчению шариковых выводов, степень которого зависит от материала припоя. Под давлением контактов адаптера мягкие шариковые выводы сильно деформируются, что может повлиять на качество контакта во время нагрузочных испытаний. Изготовители адаптеров должны обеспечить такую конструкцию контактов адаптера, чтобы они не втыкались в мягкие шариковые выводы, и чтобы шариковые выводы не отрывались.

Контакты адаптера не должны протыкать шариковые выводы в такой степени, чтобы эта деформация повлияла на качество или надежность соединения после установки корпуса BGA на ПП. Некоторые контакты адаптера касаются шариковых выводов сбоку, а некоторые – в верхней части. В некоторых адаптерах отдельные контакты подпружинены, в других – все контакты находятся на одной жесткой подложке.

6.5.2 Повреждение шариковых выводов во время тестирования и испытаний под нагрузкой Первоначально выводы на корпусе BGA блестящие и имеют шарообразную форму. Во время подачи, установки, других производственных процессов может произойти деформация выводов, повреждение, возникновение вмятин и т.п.

Деформация шариковых выводов во время тестирования и нагрузочных испытаний – это ожидаемое явление, которое само по себе является допустимым, пока не влияет на пригодность компонента. Существует множество конструкций контактов адаптеров, которые конкурируют между собой за положение на рынке. Каждый контакт оставляет на шариковом выводе уникальный след. Во время тестирования и нагрузочных испытаний эти контакты касаются шариковых выводов в разных местах и оставляют уникальные следы, зависящие от конструкции контакта.

В некоторых случаях шариковые выводы отделяются от корпуса. Вместо того, чтобы пытаться решить проблему при помощи видеосистем обнаружения наличия или отсутствия шарикового вывода и повреждений во время тестирования, рациональнее оптимизировать шариковые выводы и выбрать такой адаптер, который не окажет сильного воздействия на проверяемое устройство.

Некоторые контакты адаптеров касаются шарикового вывода только сбоку, а не снизу. Нижняя часть шарикового вывода остается нетронутой. Пример такого касания приведен на рисунке 6-28.

Другие контакты воздействуют на шариковый вывод снизу. На рисунке 6-29 показан шариковый вывод, который соприкасается с контактом адаптера в нижней части. Проблема заключается в том, что во время пайки оплавлением флюс может попасть в углубления, образованные контактами адаптера, а затем во время нагревания в процессе пайки резко увеличиться в объеме, разбрызгивая припой вокруг и вызывая образование перемычек и пр.

Некоторые адаптеры разработаны таким образом, чтобы не допускать захвата флюса. Контакты адаптера образуют в нижней поверхности шариковых выводов такие отпечатки, которые обеспечивают вытекание флюса и не допускают его захват во время пайки.

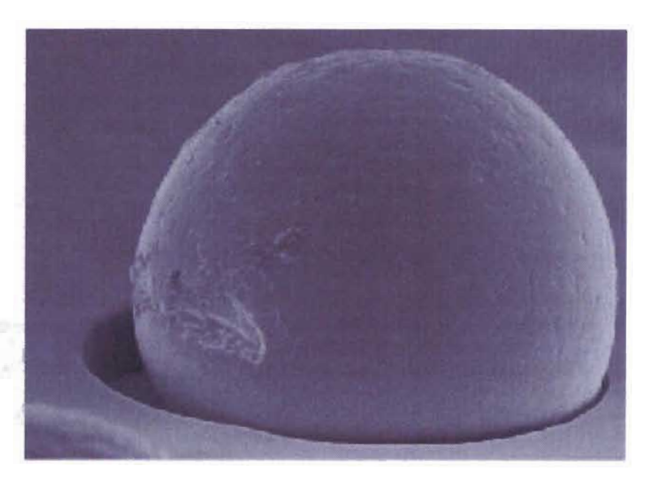


Рисунок 6-28 След бокового касания контактом пинцетного типа

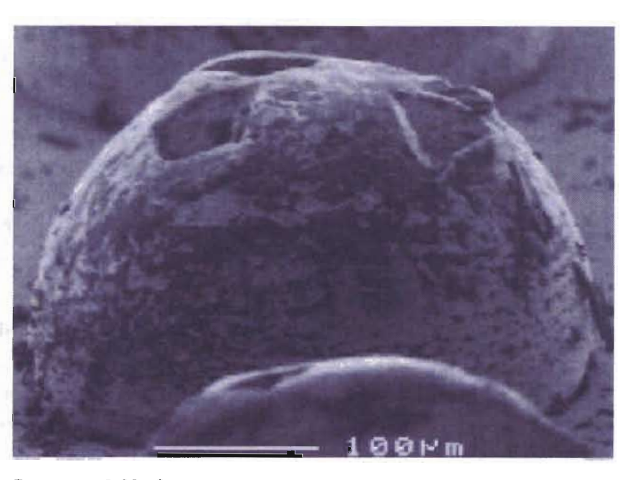


Рисунок 6-29 Отпечатки на шариковом выводе от касания контакта пружинного типа

Отпечатки других контактов допускают захват флюса выводом. Если отпечатки вызывают образование отверстий в нижней части шарикового вывода, то возникает вероятность проникновения и задерживания флюса в нем. Такое проникновение может быть совершенно безвредным в случае небольших углублений. Для возникновения повреждения углубления должны быть больше, чем предусмотрено конструкцией существующих адаптеров.

Некоторые контакты адаптеров снабжены индивидуальными механизмами приложения усилия на каждый вывод. Другие контакты снабжены общим механизмом приложения усилия на все выводы одновременно. Все виды контактов адаптера оставляют те или иные следы на шариковых выводах. Чтобы минимизировать деформацию, размер контакта должен совпадать с размером шарикового вывода. Поэтому, при уменьшении размера и шага шариковых выводов необходимо соответственно уменьшить размер контактов адаптера. Слишком большой размер контактов может вызвать замыкание и привести к нежелательной деформации шариковых выводов.

Для обеспечения контакта усилие механизма адаптера должно соответствовать твердости шариковых выводов, которая зависит от состава припоя. Слишком большое усилие вызовет нежелательную деформацию. Механизм адаптера должен

обеспечивать достаточное усилие для контакта с самыми маленькими шариками массива. Шариковые выводы размягчаются под воздействием повышенной температуры в течение продолжительного времени. Если испытания будут проводиться при различных температурах, то конструкция адаптера должна обеспечить регулировку прилагаемой нагрузки. Даже при комнатной температуре продолжительные испытания могут привести к увеличению температуры в месте контакта.

После проведения тестирования и нагрузочных испытаний шариковые выводы компонента должны оставаться пригодными к пайке с приемлемым усилием контакта, иметь нормальные размеры и форму. Чтобы оценить степень воздействия во время тестирования и нагрузочных испытаний, необходимо оценить паяемость, компланарность и общий внешний вид шариковых выводов. За время тестирования и нагрузочных испытаний шариковый вывод должен потерять как можно меньше припоя, чтобы обеспечить оптимальное паяное соединение. Шарик должен реагировать на процесс оплавления припоя, чтобы образовать приемлемый контакт. Коррозия шарика и попадание посторонних материалов во время тестирования и нагрузочных испытаний не должны негативно сказаться на качестве и долговечности шарикового вывода. Сохранение допустимой компланарности после проведения тестирования и нагрузочных испытаний является важнейшим условием правильной установки компонента BGA (особенно с тугоплавкими шариковыми выводами) на плату.

Различные адаптеры контактируют с шариковым выводом с разных сторон. На практике в большинстве адаптеров контакт с шариковым выводом происходит снизу. Принимая во внимание разнообразие конструкций адаптеров, невозможно признать какие-либо участки шарикового вывода недопустимыми для контактирования. Нет необходимости держать некоторые участки шариковых выводов в неприкосновенности, если это не влияет на паяемость, компланарность, объем припоя, качество и надежность конечного продукта.

6.5.3 Контроль платы без установленных компонентов Во время планирования контрольных испытаний и проведения измерений все более сложных печатных плат, особенно при измерении их электрических параметров, следует учитывать приведенные ниже факторы. Чтобы снизить стоимость изделия, одновременно поддерживая электрические параметры платы на адекватном уровне, заказчик должен предоставить полные результаты контроля, особенно 100% проверку соединений. Совместимость данных также является проблемой в настоящее время. Можно ожидать, что промышленная стандартизация позволит решить эту проблему в обозримом будущем. Одним из элементов, который вероятно мог бы послужить ключом для решения, является принятие стандарта базового шага выводов, который бы позволил изготовителям тестового оборудования и адаптеров сосредоточиться на поиске универсальных решений.

Приспособления типа матриц игольчатых контактов для контроля обрывов и замыканий быстро теряют способность удовлетворить требованиям при уменьшении размеров компонентов в сочетании с увеличением плотности монтажа. Адаптеры двойной плотности (с шагом 1,77 мм) обеспечивают возможность тестирования с шагом 400 мкм и более. Однако как только плотность трассировки становится выше шага 400 мкм, необходимо применять альтернативные технологии.

Можно применять игольчатые адаптеры с учетверенной плотностью расположения игл, например, с 62 контактами на квадратный сантиметр, однако в этом случае увеличивается вероятность повреждения проводников платы. Кроме того, высокая стоимость адаптеров с удвоенной и учетверенной плотностью игл и тестового оборудования не позволяет оставить операцию полного контроля плат в рамках стоимости, рассчитанной на основе текущего понимания электрических испытаний и линейного увеличения стоимости, принятого для современных технологий тестирования. Тестовые адаптеры с удвоенной и учетверенной плотностью контактов пригодны для контроля голых плат, рассчитанных на установку устройств, обладающих от 200 до 1000 выводов. Однако если компоненты расположены вплотную друг к другу, испытания по такой технологии становятся невозможными. Это происходит потому, что корпус BGA с шагом 1,00 мм содержит 96 контактных площадок на 1 $см^2$, а тестовый адаптер с учетверенной емкостью допускает размещение только 62 контактов на 1 $см^2$. Свободное распределение компонентов по поверхности платы несколько уменьшает эту проблему, но приводит к увеличению площади и снижению производительности. Также необходимо учитывать то, что применение современных технологий проверки к платам, рассчитанным на установку компонентов с большим числом выводов, приводит к тому, что стоимость полного тестирования пустой платы резко возрастает из-за необходимости многопроходной проверки или использования двух тестовых адаптеров. На рисунке 6-30 показано соотношение параметров контактных площадок и матричных тестовых адаптеров.

Испытания с помощью летающих зондов (flying probes) устраняет необходимость применения дорогостоящих адптеров и, в зависимости от объема производимых плат, может обеспечить экономичную альтернативу адаптерам с игольчатыми контактами. К сожалению, данный тест выполняется довольно медленно, а оборудование для него может быть дорогим. Проблема усугубляется увеличением плотности трассировки и необходимостью тестирования дополнительных соединений. Большая часть этого оборудования/тестовых технологий пришло из полупроводниковой промышленности; попытка его масштабирования в связи с увеличением размера плат встретилась с определенными трудностями. Кроме того, малые размеры проводников в некоторых случаях не позволяют применение тестовых систем из-за сложности обеспечения контакта тестового устройства с проводником. Чтобы использовать описанную технологию для тестирования сложных печатных плат, понадобится дальнейшее совершенствование оборудования.

С уменьшением размера переходных отверстий уменьшается и применимость распространенной технологии металлографического микросреза. Для средних лабораторий, исследующих микросрезы, практическим пределом являются отверстия диаметром 150 мкм. Альтернативные способы тестирования потребуются, если производители захотят узнать не только целостность покрытия металлизированных отверстий, но и другие их параметры. В настоящее время для определения целостности и надежности отверстий некоторые производители используют нагрузочные испытания (IST).

6.5.4 Контроль собранных печатных плат Контролепригодность печатных плат обычно учитывается при проектировании на системном уровне. В большинстве

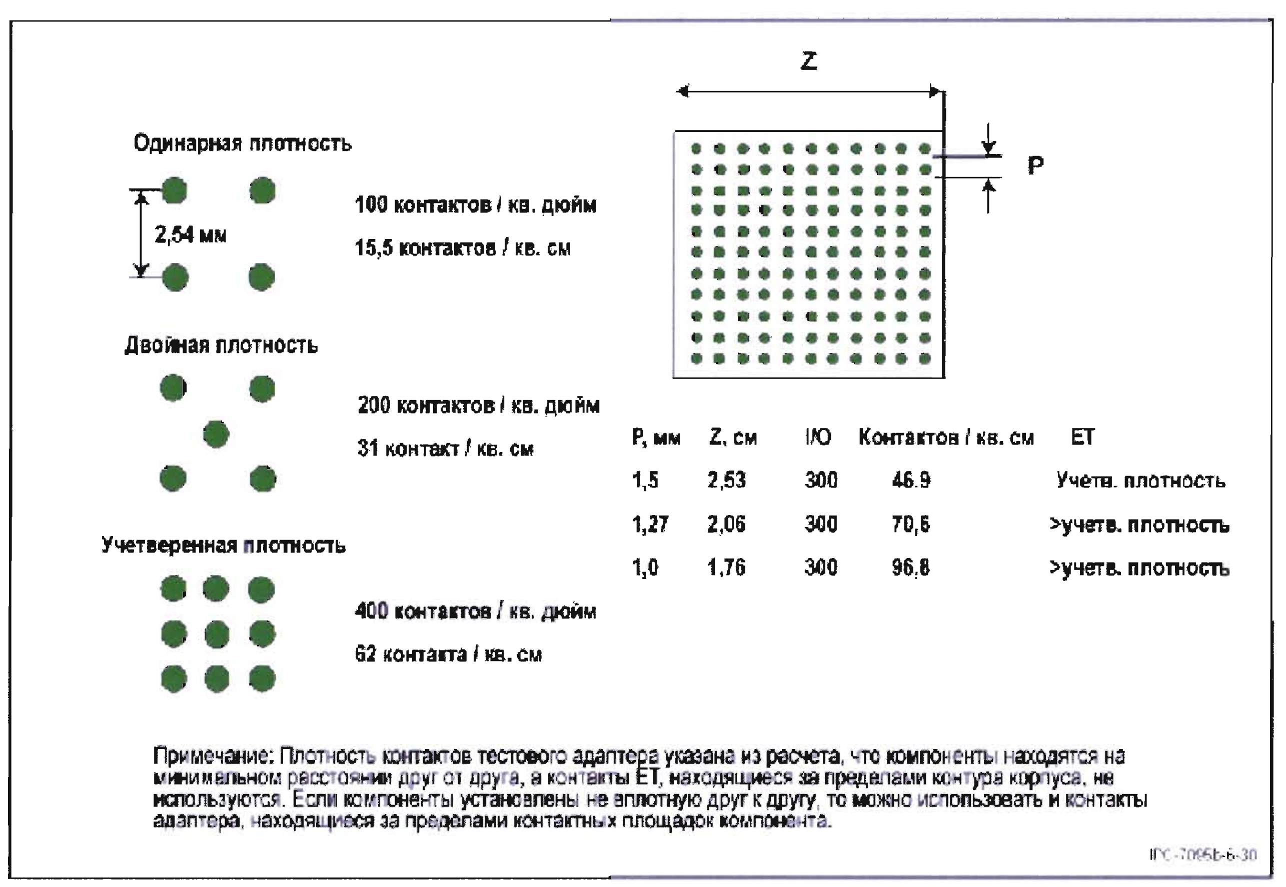


Рисунок 6-30 Тестирование матрицы контактных площадок

применений существуют системные требования по локализации и устранению неисправности, такие как средняя наработка до ремонта, относительный период работоспособного состояния, работоспособность при единичном отказе и максимальное время до ремонта. В соответствие с условиями договора в конструкцию системы могут включаться функции контролепригодности, и во многих случаях эти функции можно использовать для увеличения контролепригодности печатной платы. Принцип контролепригодности печатной платы также должен соответствовать, общим планам компоновки, контроля и технического обслуживания, указанным в договоре. При разработке стратегии тестирования печатных плат следует учесть такие факторы, как используемое промышленное тестовое оборудование, способ организации компоновки и контроля, момент выполнения влагозащитного покрытия печатных плат, характеристики оборудования для контроля в стационарных и полевых условиях, квалификация персонала и т.п.

Принципы контроля могут различаться в зависимости от стадии его выполнения. Например, принцип поиска неисправностей первого модуля может существенно отличаться от принципа тестирования запасных частей после отгрузки всех систем. Требования контролепригодности системы включаются в анализ проекта перед началом разработки ПП. Эти и любые сопутствующие требования должны быть разделены на конкретные требования для различных печатных плат и задокументированы. Принципы определения критериев тестирования на системном и программном уровнях, а также порядок их распространения на требования к печатным платам не входят в настоящий документ.

Существует два основных вида контроля собранных печатных плат: функциональное и внутрисхемное тестирование. Функциональное тестирование используется для проверки функционирования электрической схемы. Тестовое оборудование для функционального тестирования подключается к печатному узлу через разъем, контрольные точки или игольчатый адаптер. Функциональное тестирование платы проводится путем подачи заданного вектора сигналов на входы печатного узла и последующей проверки правильности ответных выходных сигналов.

Внутрисхемное тестирование используется для поиска производственных дефектов в печатных узлах. Внутрисхемное тестовое оборудование подключается к печатному узлу при помощи тестового адаптера. Печатный узел тестируется путем проверки всех его компонентов по отдельности. Внутрисхемное тестирование предъявляет меньше требований к конструкции печатного узла. Печатные узлы с влагозащитным покрытием и многие печатные узлы, выполненные по технологии поверхностного монтажа и по смешанной технологии, создают помехи физическому подключению тестового адаптера, что может воспрепятствовать проведению внутрисхемного контроля. Главными проблемами внутрисхемного тестирования являются: (1) необходимость располагать контактные площадки и выводы в узлах сетки (для возможности контроля с помощью тестового адаптера); (2) контактные площадки должны быть доступны с нижней стороны платы (сторона пайки компонентов, монтируемых в

отверстия).

Анализатор производственных дефектов (Manufacturing Defects Analyzer (MDA)) является недорогой альтернативой традиционному оборудованию внутрисхемного тестирования. Как и внутрисхемный тестер, MDA проверяет наличие дефектов на печатном узле. Он выполняет наборы тестов, в основном тесты наличия обрывов и замыканий без подачи питания на печатную плату. Для массового производства с высоким уровнем управления производственными процессами (например, технология статистического управления процессом) MDA может служить важнейшей частью технологии тестирования собранных печатных плат.

Безвекторное тестирование – еще одно недорогое средство внутрисхемного тестирования. Во время безвекторного тестирования проводится поиск технологического брака в выводах элементов поверхностного монтажа, при этом программирование тестовых векторов не требуется. Это пассивная технология измерения, состоящая из трех основных типов проверок:

1. *Проверка аналоговых контактов* - измерение постоянного тока на отдельных парах выводов платы при помощи диодов электростатической защиты, имеющейся на большинстве выводов цифровых и смешанных устройств.

2. *Проверка радиочастотной индукции* - проверка устройств на плате с использованием магнитной индукции и защитных диодов. Эта технология заключается в использовании выводов питания и заземления кристаллов для нахождения разрывов в сигнальных проводниках, поврежденных проволочных соединений и устройств, поврежденных статическим зарядом. Также можно обнаружить неправильно установленные детали. Для проведения этого теста требуются магнитные индукторы.

3. *Проверка емкостной связи* - в этой технологии емкостная связь используется для поиска неподключенных выводов. При этом используется не внутренняя схема устройства, а металлическая рамка с выводами. При помощи данной технологии можно выполнять проверку соединителей и разъемов, рамок выводов и полярности конденсаторов.

6.5.4.1 Прогиб платы при тестировании Поскольку бессвинцовые соединения могут быть жестче и менее податливы, чем оловянно-свинцовые, применяемые при внутрисхемном / функциональном тестировании адаптеры могут повредить паяные соединения, если их конструкция вызывает чрезмерный прогиб платы во время использования. Причиной повреждений, обусловленных деформацией, обычно является неправильное расположение опор и зажимов платы, особенно в областях с высокой концентрацией тестовых зондов. Чрезмерный изгиб платы может быть вызван также недостатками регулировки плоскостности опор и прижимов, высоким усилием воздействия зондов, а также избыточным или недостаточным вакуумом либо неправильным распределением пружин между верхней платой и платой зондов. Кроме того, нежелательный прогиб ПП, который приводит к повреждениям, могут вызвать ошибки проектирования оснастки и адаптеров.

Для предотвращения повреждения печатных узлов (ПУ) тестовым адаптером необходимо при испытаниях измерять величину и скорость деформации ПУ. Измерения должны выполняться по углам компонентов BGA с использованием трехэлементных прямоугольных тензодатчиков, располагаемых согласно рекомендаций IPC/JEDEC-9704.

Деформация и скорость деформации должны быть указаны в "спецификации предельной деформации", определяющей требования к воздействию, тестированию и снятию нагрузки с объекта испытаний (UUT).

Система измерения деформаций должна производить отсчет от всех элементов каждого датчика одновременно (e1, e2, e3), чтобы правильно определить и рассчитать все компоненты деформации.

Общепринятая предельная деформации для оловянно-свинцовых ПУ равна 600 με, основная или диагональная.

Общепринятая предельная деформации для бессвинцовых ПУ равна 450 με, основная или диагональная.

Общепринятая максимальная скорость деформации равна 30,000 με/сек, основная или диагональная.

Типичный приемочный критерий при оценке повреждений: Отсутствие повреждений в паяных соединениях BGA, определяемое методом послойного анализа отказов.

6.5.4.2 Проблемы внутрисхемного контроля Внутрисхемный контроль проводится для поиска замыканий, обрывов, неисправных и неправильно установленных компонентов, ошибок сборки печатных плат и других производственных дефектов. Внутрисхемное тестирование не предназначено для поиска компонентов, работающих в предельном режиме, а также проверки критических временных параметров или других функций электрической схемы.

Внутрисхемное тестирование цифровых печатных узлов может включать процесс, известный как «backdriving» (установка в нужное состояние «обратным путем») (см. IPC-T-50). Обратная установка может вызвать возбуждение устройств, а тестовое оборудование может не иметь достаточной возможности для вывода устройств из состояния насыщения. Обратная установка может проводиться только в течение определенных периодов времени, в противном случае соединение с устройством (с перегруженным выходом) перегреется.

Двумя основными проблемами, которые могут возникнуть при проектировании схем и печатных узлов с учетом пригодности к внутрисхемному контролю, являются несовместимость с приспособлением для внутрисхемного контроля и нарушение электрических параметров схемы.

6.5.4.3 Проблемы функционального контроля Существует несколько проблем, возникающих во время проектирования узлов печатных плат с учетом контролепригодности для функционального контроля. Использование тестовых разъемов, проблемы инициализации и синхронизации, схемы с большим числом счетчиков, самодиагностика, а также проведение физического контроля подробно рассматриваются в следующих подразделах, но эти разделы не являются руководством по контролепригодности, в них изложены лишь некоторые рекомендации о том, как преодолеть типичные проблемы функционального тестирования. Локализация неисправностей в печатных узлах с влагозащитным покрытием и в печатных узлах с компонентами поверхностного и смешанного монтажа может быть очень сложной задачей из-за недостаточного доступа к устройствам на плате. Если важнейшие сигналы подаются на тестовый разъем или в область печатной платы, допускающую их проверку (контрольные точки), то поиск неисправностей может стать гораздо эффективнее. Такая организация платы снижает стоимость обнаружения, локализации и ремонта. Также можно разработать схему таким образом, чтобы в ней был контрольный разъем для подачи сигналов (например, контрольный разъем, подключенный к шине данных) или возможность отключения некоторых функций

(например, отключение тактового генератора и добавление возможности пошаговой работы через контрольный разъем).

6.6 Другие проблемы технологичного проектирования Процесс разработки топологии должен включать формальный анализ проекта с точки зрения как можно большего числа отраслей знания внутри компании, включая изготовление, сборку и тестирование. Одобрение проекта специалистами данных отраслей будет означать, что все эти факторы учтены в проекте. Успех или неудача проекта зависит от множества взаимосвязанных причин. Необходимо рассмотреть влияние на технологичность проекта следующих факторов использования конечного продукт:

• Условия работы оборудования, такие как температура окружающей среды, тепловыделение компонентов, вентиляция, ударные воздействия и вибрация

• Если печатный узел является обслуживаемым и ремонтопригодным, необходимо учесть плотность установки компонентов и разводки соединений, выбор платы и материалов влагозащитного покрытия, а также доступ к компонентам на плате

• Место установки печатного узла, которое может влиять на размер и положение монтажных отверстий, соединений, направляющих выступов, размещение компонентов, кронштейнов и других монтажных приспособлений

• Требования контроля и локализации неисправностей, которые могли бы повлиять на положение компонентов, прокладку проводников, распределение контактов разъемов и пр.

• Технологические нормативы, такие как компенсация коэффициента бокового подтравливания для выбранной ширины проводников, промежутков, контактных площадок и пр.

• Технологические ограничения, такие как минимальный размер вытравливаемых элементов, минимальная толщина металлизации, форма и размер платы и пр.

• Требования покрытия и маркировки

• Используемая технология сборки, например, поверхностный монтаж

• Монтаж в отверстия и смешанный монтаж

• Класс производительности платы

• Выбор материалов

• Технологичность печатного узла с учетом ограничений производственного оборудования

- Требуемая гибкость платы

- Электрические / электронные характеристики

- Требования к производительности

• Чувствительность к электростатике

6.6.1 Конструирование мультиплицированных плат Для сборки и тестирования широко применяются групповые заготовки. Для всей групповой заготовки и для каждого печатного модуля требуется задание начала системы координат. Чтобы уменьшить накопление ошибок, начала систем координат каждого печатного модуля должны устанавливаться относительно начала координат групповой заготовки (см. рисунок 6-31).

Большинство компаний-сборщиков предпочитают объединять платы в групповую заготовку, подобную показанной на рисунке 6-31. Изготовители плат должны разместить групповую заготовку на стандартной технологической панели, которая обычно имеет размеры 460 x 610 мм. Разработчики должны работать совместно со своими поставщиками, чтобы оптимизировать расход материала, способ разделения групповых заготовок , а также порядок их тестирования.

6.6.2 Промежуточные / готовые образцы для контроля Образцы используются в промышленности в течение многих лет для оценки изделий. Эти образцы служат для имитации плат и собранных печатных узлов. Они могут быть объединены в групповые заготовки, используемые в производстве плат, или заготовки, поставляемые организации-сборщику. Известные как образцы для проверки соответствия качества, они были много раз проверены после завершения процесса производства. Эта технология больше не используется, поскольку концепция проверки качества продукции не принесла свои плоды. Большинство изготовителей и сборщиков делают акцент на управление производственными процессами. Тем не менее образцы все еще используются, чтобы при помощи различных физических проверок убедиться, что процессы и режимы, используемые в производстве печатного узла, соответствуют требованиям. Эта идея является очень важной для BGA, поскольку после сборки платы доступ к контактным площадкам отсутствует. Тестовые образцы должны обладать характеристиками соответствующей платы или групповой заготовки. Данные, полученные от использования образцов, должны применяться для выработки требований к переходным отверстиям, контактным площадкам, проводникам, промежуткам и пр. Если образец используется для определения параметров управления процессом, он должен иметь отверстия и контактные площадки одного размера в соответствии с требованиями процесса. Характеристики процесса и основные характеристики платы должны совпадать.

IPC-2221 описывает превосходные образцы, которые используются для оценки характеристик пустых и собранных плат. В состав этих характеристик входят:

• Паяемость отверстий

• Тентинг паяльной маски

• Температурное напряжение металлизации

• Толщина и прочность соединений

• Адгезия металлизации

• Паяемость поверхности

• Паяльная маска

• Паяемость монтажной поверхности

• Прочность сцепления поверхности

• Поверхностное сопротивление изоляции

• Стойкость влагоизоляции

• Совмещение

• Сопротивление соединений

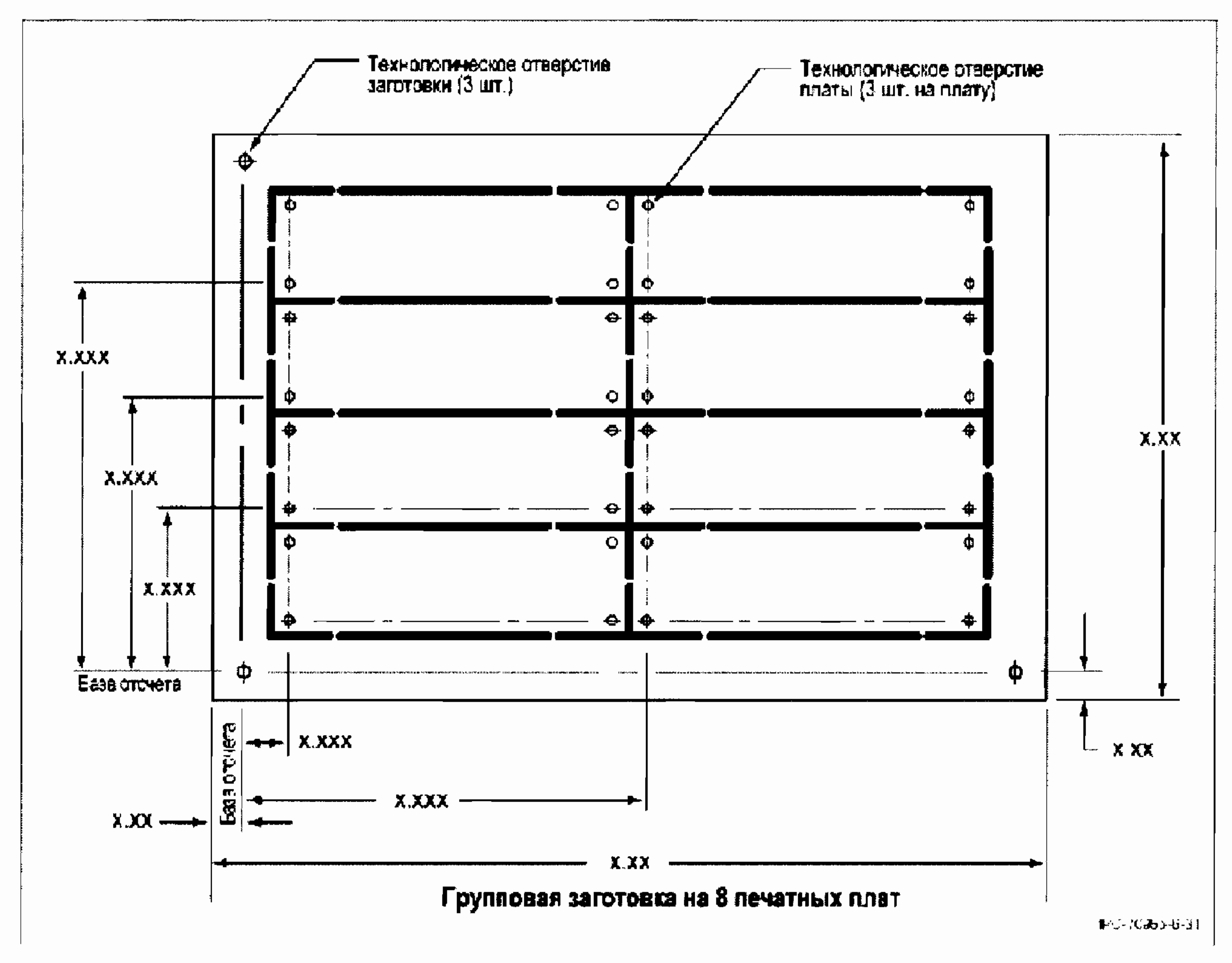


Рисунок 6-31 Групповая заготовка

На рисунке 6-32 изображен альтернативный образец, который можно использовать для оценки чистоты платы после пайки шариковых выводов. Гребенчатые дорожки используются для проверки отсутствия нарушения электрических характеристик флюсом или его остатками.

6.7 Управление температурным режимом Первоочередной задачей управления температурным режимом является обеспечение условий для поддержания функциональных и максимально допустимых пределов температуры для всех компонентов схемы, особенно BGA. Функциональный температурный предел устанавливает такой диапазон окружающих температур или температур корпуса, в котором допускается работа электронных схем.

Конструкция печатного узла должна разрабатываться с учетом применяемой технологии охлаждения. Обычно в коммерческих применениях используется прямоточное воздушное охлаждение (т.е. охлаждающий воздух поступает непосредственно на печатный узел).

В жестких и агрессивных условиях должно применяться непрямое охлаждение печатного узла. В этом случае печатный узел устанавливается в конструкцию, которая охлаждается воздушной или жидкостной системой, а компоненты охлаждаются за счет контакта с теплоотводящей поверхностью. При таком подходе на печатной плате должны быть установлены металлические теплоотводы. Для этого может потребоваться соответствующим образом изменить размещение компонентов и разводку соединений. Для анализа и разработки платы с точки зрения тепловыделения необходимо создать карту распределения тепла.

Тепло внутри электронного оборудования рассеивается в результате взаимодействия трех видов теплопередачи: теплопроводности, излучения и конвекции. Эти виды теплопередачи часто действуют одновременно. Т.о. при любом подходе к управлению температурным режимом необходимо попытаться максимально использовать их естественное взаимодействие.

6.7.1 Теплопроводность Теплопроводность – первый вид теплопередачи, который необходимо учесть. Свойство теплопроводности в той или иной степени присуще всем материалам. Теплопроводность прямо пропорциональна удельному коэффициенту теплопроводности материала (K), площади поперечного сечения теплопроводящего слоя и разности температур в разных местах материала. Теплопроводность обратно пропорциональна расстоянию и толщине материала (см. таблицу 6-11).

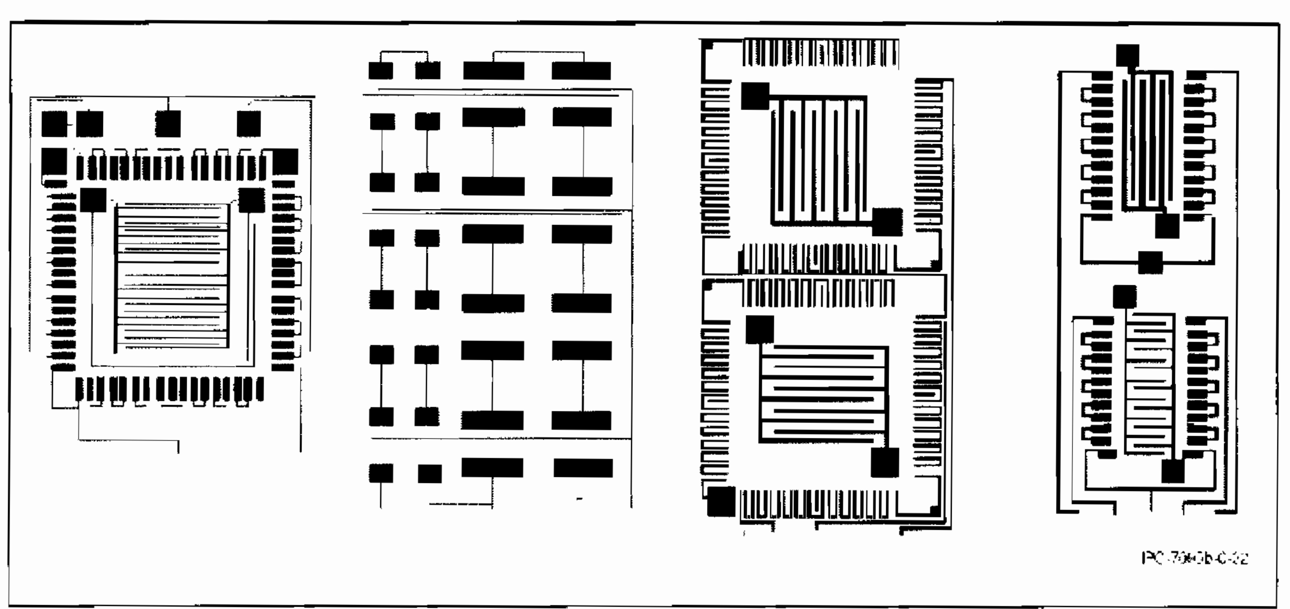


Рисунок 6-32 Примеры гребенчатых дорожек и контактных площадок

Таблица 6-11 Влияние типа материала на теплопроводность

Материалы	Теплопроводность (K)		
	Вт/дюйм °C	Вт/м °C	Грамм-калорий/см °C • с
Неподвижный воздух	0.0007	0.0276	0.000066
Эпоксид	0.005	0.200	0.00047
Теплопроводный эпоксид	0.02	0.787	0.0019
Алюминиевый сплав 1100	5.63	222	0.530
Алюминиевый сплав 3003	4.88	192	0.459
Алюминиевый сплав 5052	3.52	139	0.331
Алюминиевый сплав 6061	4.36	172	0.410
Алюминиевый сплав 6063	4.88	192	0.459
Медь	4.93	194	0.464
Низкоуглеродистая сталь	1.19	46.9	0.112

6.7.2 Излучение Тепловое излучение – это передача тепла путем электромагнитного излучения, преимущественно в инфракрасном диапазоне волн. Это единственный способ передачи тепла между телами, которые разделены вакуумом, как в космическом пространстве.

Количество теплоты, передаваемого излучением, зависит от отношения площади поверхности горячего тела к его излучательной способности, эффективной площади поверхности и четвертой степени разницы абсолютных температур.

Излучательная способность – это коэффициент снижения мощности для объекта, не являющегося абсолютно черным телом. Она определяется как отношение мощностей излучения данного тела и абсолютно черного тела, для которого излучательная способность равна единице (1,0). Понятие «абсолютно черного тела» почти не имеет отношения к видимому цвету объекта. Излучательная способность анодированного алюминия одинакова, независимо от того, имеет он черный, красный или голубой цвет. Однако покрытие поверхности имеет большое значение. Матовая поверхность обладает большей излучающей способностью, чем яркая или блестящая (таблица 6-12).

Таблица 6-12 Излучающая способность ряда материалов

Материал и покрытие	Излучающая способность
Листовой алюминий (полированный)	0.040
Листовой алюминий (шероховатый)	0.055
Анодированный алюминий – любого цвета	0.80
Латунь (коммерческая)	0.040
Медь (коммерческая)	0.030
Медь (обработанная)	0.072
Сталь (катаный лист)	0.55
Сталь (оксидированная)	0.667
Никелевая пластина (матовая поверхность)	0.11
Серебро	0.022
Олово	0.043
Масляные краски любого цвета	0.92-0.96
Лак любого цвета	0.80-0.95

Устройства, компоненты и пр. близко расположенные друг к другу объекты, поглощают излучаемую энергию друг друга. Если излучение составляет значительную часть выделяемого тепла, «горячие» точки необходимо размещать на значительном удалении друг от друга.

6.7.3 Конвекция Передача теплоты путем конвекции является наиболее сложным процессом. Она заключается в передаче тепла текучими веществами, обычно воздухом.

Отношение теплового потока, сообщаемого путем конвекции от тела текучему веществу – это функция площади поверхности тела, разницы температур, скорости течения текучего вещества и некоторых его характеристик.

Контакт любой жидкости с горячей поверхностью снижает плотность вещества и вызывает его подъем. Циркуляция, возникающая в результате этого феномена, называется «свободной» или «естественной» конвекцией. Конвекционный поток воздуха может быть получен естественным образом или при помощи внешнего дополнительного устройства, такого как вентилятор. Передача тепла при вынужденной конвекции может быть в десятки раз эффективнее, чем при естественной конвекции.

6.7.4 Материалы для передачи тепла Наиболее распространенной на сегодняшний день технологией охлаждения кристаллов в корпусах BGA является установка теплового радиатора на корпус микросхемы. Между корпусом компонента и тепловым радиатором необходимо поместить специальный теплопроводящий материал для улучшения теплопроводности между поверхностями корпуса и радиатора.

Выбирая теплопроводящий материал, учитывайте плоскостность корпуса BGA и радиатора. Деформация корпуса BGA во время пайки и большие допуски на контактной поверхности радиатора могут привести к большим зазорам, которые трудно надежно заполнить некоторыми материалами. Это может привести к снижению теплопроводности и/или ослаблению контакта с радиатором.

Существует большой выбор теплопроводящих материалов (thermal interface materials (TIM)). Ниже приведено их описание.

Адгезивы: Металлонаполненные эпоксиды и силиконовые адгезивы часто использовались в качестве TIM. Помимо теплопередачи они выполняют функцию клея, поскольку после полимеризации становятся высокоструктурированными и обеспечивают высокую прочность сцепления. Поэтому, в отличие от других TIM, при использовании адгезивов нет необходимости в применении дополнительных методов механического соединения. Недостатками адгезивов являются необходимость высокотемпературной полимеризации после пайки компонента BGA на плату и вероятность значительного расслоения в плоскости сопряжения корпуса и радиатора из-за разности коэффициентов теплового расширения между радиатором и корпусом. Другим подклассом адгезивов являются клеи, отверждающиеся под давлением (pressure sensitive adhesives (PSA)), которые для сцепления поверхностей требуют не полимеризации, а приложения достаточно высокого давления, обычно в диапазоне от 20 до 30 фунтов/дюйм2. Поэтому их использование с корпусами BGA ограничено, так как без соответствующего контроля давление может повредить паяные выводы корпуса.

Смазки: Тепловые смазки – это металлонаполненные полимеры, которые, будучи жидкими, заполняют все макроскопические и микроскопические неоднородности поверхностей радиатора и корпуса компонента BGA. Они обладают превосходными тепловыми характеристиками и, в отличие от адгезивов, не требуют отверждения. Основным недостатком тепловых смазок является тенденция к вытеканию из-под радиатора и корпуса с течением времени. Этот феномен известен как «откачивание» и вызван термомеханическими напряжениями, воздействующими на поверхности во время изменений температуры.

Материалы с изменяющимися фазами (PCM): Материалы с изменяющимися фазами находятся в твердом состоянии при комнатной температуре, но переходят в жидкое состояние при повышении температуры до величины, при которой необходимо осуществлять отведение тепла с поверхности корпуса BGA. Они просты в использовании и нанесении, т.к. обычно выпускаются в виде пленок и не нуждаются в отверждении. Однако поскольку их теплопроводность ниже, чем у смазок, адгезивов и других TIM, они пригодны для использования в устройствах с низким тепловыделением.

Гели: Гели состоят из слабо структурированного силиконового полимера, наполненного металлическими или керамическими частицами, которые создают теплопроводность, необходимую для этого TIM. Гели сочетают преимущества смазок и отвержденных адгезивов, не вытекают и не требуют отверждения после нанесения. Их модуль упругости достаточно низок для ослабления термомеханических напряжений и отсутствия расслоения. Благодаря своей высокой объемной теплопроводности они используются для охлаждения корпусов BGA, содержащих устройства типа процессоров с большой потребляемой мощностью.

Теплопроводная лента, чувствительная к давлению: Чувствительная к давлению теплопроводная лента может иногда использоваться для придания теплопроводящих свойств, необходимых для отвода тепла от компонента BGA. Этот материал, обеспечивающий тепловой интерфейс, получает все боле широкое распространение благодаря простоте обращения и нанесения на поверхности, которые используются для охлаждения компонентов BGA.

6.7.5 Способы установки радиаторов на корпуса BGA Существует несколько способов установки радиаторов на корпуса BGA. Они показаны на приведенных ниже иллюстрациях.

На рисунке 6-33 показан радиатор, установленный сверху корпуса BGA при помощи теплопроводного адгезива. Адгезив исполняет роль теплопроводного материала, а также материала для механического крепления. Однако, как было указано выше, эта технология требует отверждения для образования межмолекулярной связи.

На рисунке 6-34 показан радиатор, установленный сверху корпуса BGA при помощи зажимов, закрепленных на подложке BGA. В этом случае материалом тепловой связи является смазка, PCM или гель, т.е. материал, который не обеспечивает надежного механического соединения между радиатором и поверхностью корпуса BGA. У этого метода есть один

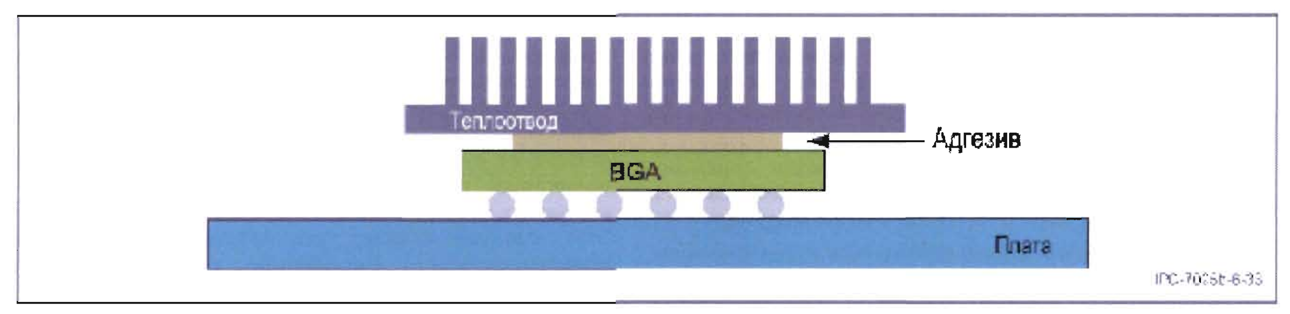


Рисунок 6-33 Радиатор, установленный на корпус BGA при помощи адгезива

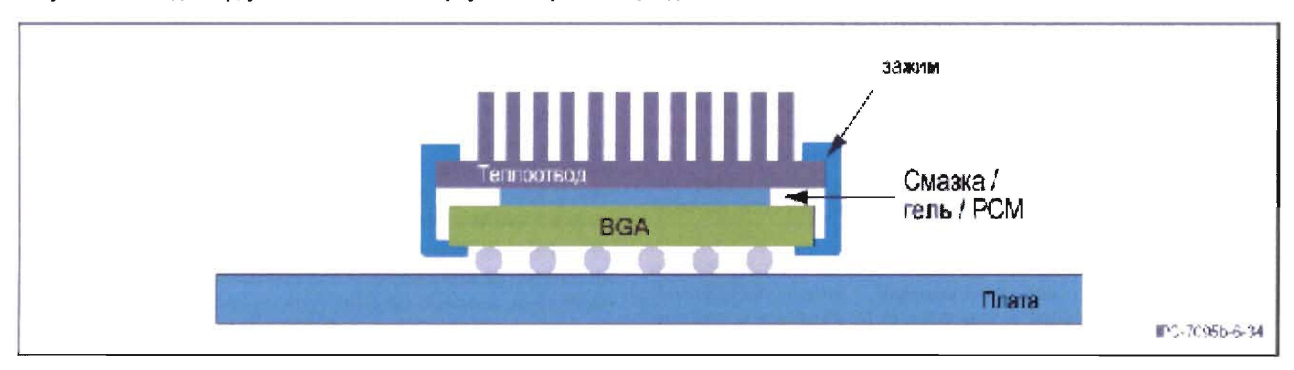


Рисунок 6-34 Радиатор, установленный на корпус BGA при помощи зажимов, крепящихся к подложке компонента

недостаток. Вес радиатора воздействует на корпус, поэтому при механическом ударе и вибрациях шариковые выводы компонента BGA должны выдерживать механические напряжения, создаваемые дополнительной массой радиатора.

На рисунке 6-35 изображен радиатор, установленный на корпус BGA при помощи зажимов, которые крепятся в отверстиях печатной платы. Металлизировать эти отверстия не нужно. В отличие от предыдущего варианта вес радиатора воздействует на печатную плату, однако при механическом ударе и вибрациях некоторое механическое воздействие может передаваться и на шариковые выводы компонента BGA. Кроме того, радиатор может создать консольную нагрузку на паяное соединение при вертикальной ориентации сборки. Эта нагрузка может привести к преждевременному отказу паяного соединения.

На рисунке 6-36 изображен радиатор, установленный на корпус BGA при помощи зажимов, которые крепятся к стойкам, припаиваемым к печатной плате волной припоя.

В данном случае воздействие механического удара и вибрации на шариковые выводы корпуса BGA еще меньше, чем в предыдущем случае. Однако большую часть напряжения принимают на себя паяные соединения стоек.

На рисунке 6-37 показан радиатор, установленный на корпусе BGA при помощи штырьков, впаянных в печатную плату. Конструкция радиатора предусматривает четыре или больше штырьков, которые вставляются в отверстия платы перед пайкой волной припоя. В отличие от предыдущего случая, этот способ не предусматривает последующей обработки после установки радиатора.

Три способа, изображенные на рисунках 6-30, 6-31 и 6-32 обладают одним недостатком, который отсутствует в первых двух. Эти способы требуют наличия отверстий в печатной плате, которые занимают место, необходимое для трассировки проводников, во всех слоях платы. В платах с высокой плотностью трассировки это может привести к увеличению количества слоев.

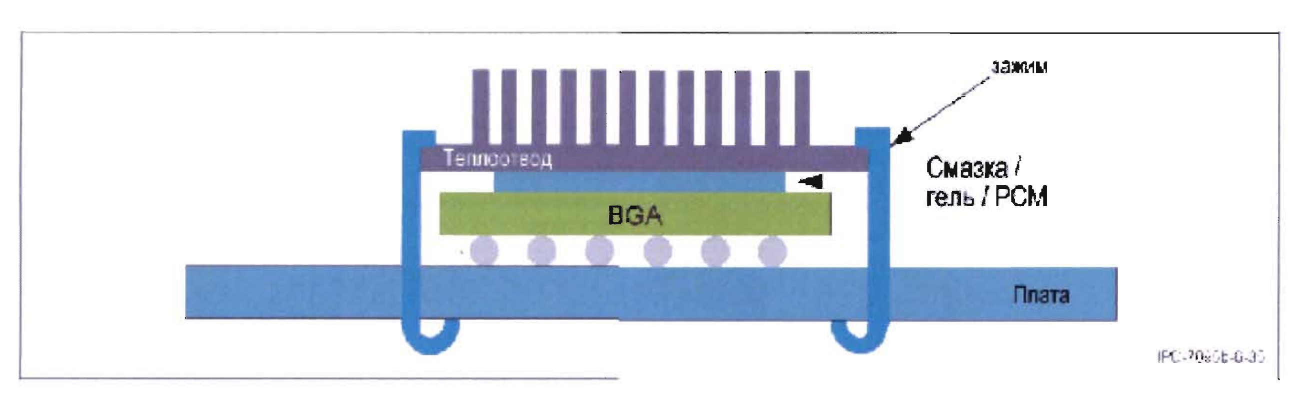


Рисунок 6-35 Радиатор, установленный на корпус BGA при помощи зажимов, крепящихся в отверстиях печатной платы

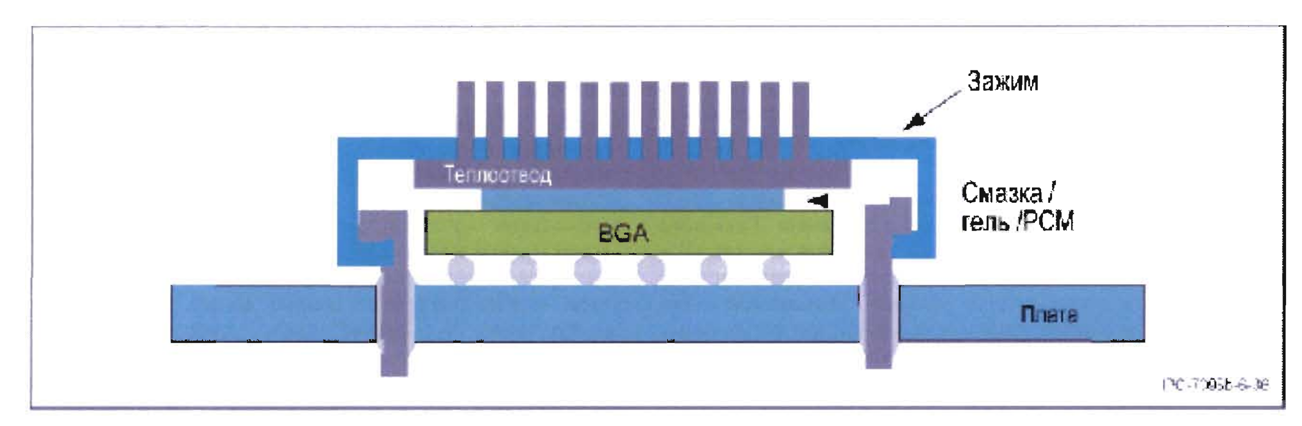


Рисунок 6-36 Радиатор, установленный на корпус BGA при помощи зажимов, крепящихся к стойкам, припаянным к печатной плате

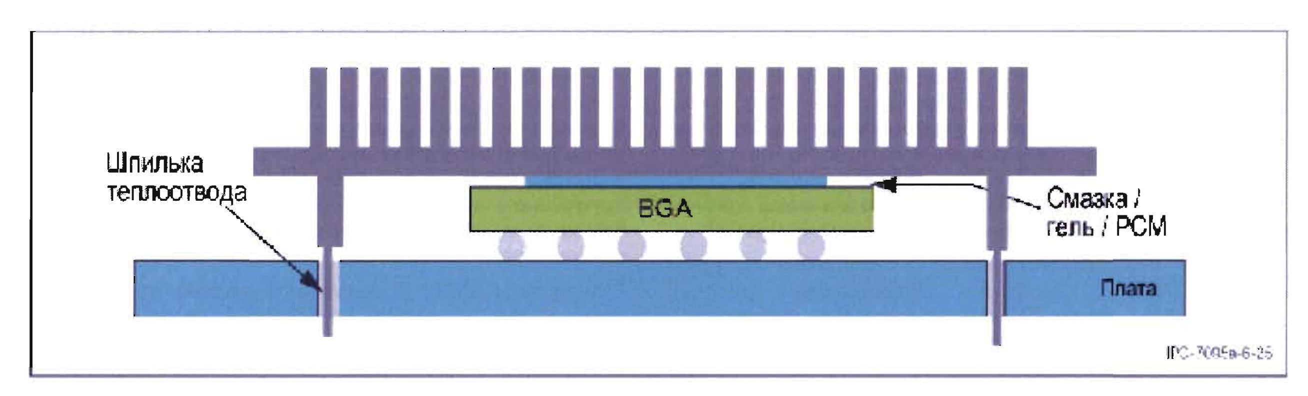


Рисунок 6-37 Радиатор, установленный на корпус BGA при помощи штырьков, впаянных в сквозные отверстия печатной платы

6.8 Документация и электронная система передачи данных

Пакет документации для компонентов BGA обычно состоит из оригинала чертежа, оригинала чертежа расположения выводов, копий фотошаблона (на пленке или бумаге), сборочного чертежа , спецификации и принципиальной или логической схемы. Пакет документации может предоставляться на бумажном или электронном носителе. Вся информация о документации также относится и к данным, передаваемым в электронном формате. Поскольку многие CAD-системы снабжены собственными базами данных, каждая предлагает свой уникальный формат, т.о. избегая передачи собственной базы данных поставщикам.

К сожалению, наименьшим общим знаменателем многие годы был машинный язык. В документах IPC-D-350, IPC-D-356, IPC-2511 или IPC-2581 предпринимаются попытки обойти это ограничение. Создание архивов электронных данных должно выполняться в соответствии с требованиями этих документов. Передача созданных на компьютере данных как части пакета документации должна соответствовать требованиям, установленным в этих пакетах. При помощи автоматизированных технологий базы данных должны детально описывать всю информацию, которая понадобится для изготовления печатной платы или монтажной структуры бескорпусного кристалла. Сюда входят все замечания, требования к металлизации, толщина платы и пр. Необходимо использовать тестовые схемы для проверки соответствия данных требованиям.

В состав пакета документации могут входить цифровые данные управления сверлильным станком, данные трассировки, библиотеки, тесты, фотошаблон и специальная информация. Существуют требования к проектированию и документации, относящиеся к общей компоновке, рабочему фотошаблону, к самой монтажной конструкции, а также к готовому компоненту и печатному узлу. Во время проектирования схемы установки бескорпусного кристалла или корпуса BGA все должно быть учтено. Документация должна соответствовать требованиям IPC-D-325. Чтобы подготовить пакет документации наилучшего качества, необходимо ознакомиться с требованиями стандарта IPC-D-325 и установить все критерии, на которые может повлиять процесс проектирования.

6.8.1 Требования к чертежам Во время формальной оценки проекта перед выполнением компоновки необходимо проанализировать, какие специальные документы (фотошаблон и цифровые контрольные данные) можно сгенерировать при проектировании. Эти документы могут понадобиться во время изготовления, сборки и тестирования компонентов. Примерами таких документов являются фотошаблоны, данные для удаления фоторезиста, цифровые данные для автоматической установки, трафарет паяльной пасты, цифровые таблицы данных, используемых в качестве контрольных пленок.

Все документы всегда просматриваются с главной стороны. Все фотошаблоны рассматриваются с той же стороны. Описание слоев изделия должно рассматриваться со стороны каждой конкретной детали, начиная с главной стороны.

Подготовка и квалификация персонала должны быть достаточными, чтобы устранить допущенные неточности описания во время разработки фотошаблона. Влияние этого требования можно уменьшить, если строго придерживаться координатной сетки, которая определяет все элементы платы или бескорпусного кристалла.

Комментарии к описанию должны быть как можно более полными с соответствующими обозначениями. Главными требованиями к нормальной системе внесения изменений в проектно-сметную документацию являются наличие системы обозначений и определение уровней исправлений. Это особенно важно в цикле технической оценки, при цитировании или когда документ используется кем-либо, кроме автора.

6.8.2 Протоколы взаимодействия оборудования Для всей без исключения электронной промышленности производственный процесс состоит из нескольких операций, каждая из которых концентрируется вокруг оборудования одного поставщика. Хотя все операции обычно автоматизированы, друг с другом они обычно соединяются только входом и выходом. Собственные форматы данных и коммуникационные протоколы каждой единицы оборудования мешают эти островкам автоматизации общаться друг с другом. В этих условиях менеджеры производства не имеют возможности контролировать, осмысливать и, при необходимости, корректировать производственный процесс для повышения производительности и качества продукции.

В течение последних нескольких лет инициативная группа iNEMI (National Electronics Manufacturing Initiative), финансировала проект IPC по стандартизации синтаксиса и семантики обмена данных в процессе сборки печатных плат. В ходе проекта были созданы правила обмена данными как на отдельной производственной площадке, так и между производственной площадкой и остальной организацией. Результаты работы были сведены в стандарты IPC CAMX (автоматизированное производство с использованием языка XML):

• IPC-2541 ''Обобщенные требования к оборудованию для электронной промышленности''

• IPC-2546 ''Групповые требования к специализированному оборудованию для сборки печатных плат''

•IPC-2547 ''Групповые требования к организации связи для проведения контроля, тестирования и ремонта''

Центральной частью стандарта является базовая структура с промежуточным агентом. Этот «агент сообщений», который управляет обменом информацией в соответствии со стандартом IPC-2501 («Определение обмена данными XML на базе веб-интерфейса»). Агент сообщений выполняет роль «почты» или «почтового сервера». Сообщения отправляются на сервер, при необходимости с него запрашивают информацию другие системы или сотрудники.

На производстве к одному агенту сообщений может быть подключено несколько линий оборудования и несколько приложений. Отдельные элементы системы не нуждаются в подробных данных о назначении, конфигурации и формате данных других элементов. Они непосредственно общаются только с агентом.

Когда сотрудникам и оборудованию нужна специальная информация, агент обеспечивает ее передачу в требуемом формате.

6.8.2.1 Реализация Сравнительно просто настроить инфраструктуру и веб-инструменты для контроля нескольких наборов производственного оборудования, включая внутрисхемные тестеры и системы для установки компонентов от нескольких производителей. Настройку можно использовать для получения агентом данных о суммарной производительности и состоянии функциональных узлов. Агент сообщений обычно может быть введен в эксплуатацию в течение двух дней, при помощи инфраструктуры, уже имеющейся на производственной площадке, его сравнительно просто связать как со старым оборудованием, так и с оборудованием, поддерживающим язык XML. Правильная настройка позволяет избежать нарушения системы безопасности сети.

Использование стандартов сети Интернет, таких как HTTP и XML, гарантирует взаимодействие между различными платформами. Если приложение никогда ранее не сталкивалось с работающим агентом сообщений, оно может быть адаптировано к существующей инфраструктуре связи на месте. Одной их наиболее важных задач стандарта IPC CAMX является понижение технологического барьера для интеграции как сложного оборудования, такого как системы установки и контроля, так и простого, как системы подачи печатных плат.

Стандарты CAMX устанавливают единые требования к производству продукции, процессам и производственному оборудованию. Следующие приложения могут получать сообщения от оборудования:

• Система контроля незавершенного производства (WIP).

• Системы отслеживания, контроля пропускной способности и производительности.

• Системы контроля загрузки оборудования и балансировки сборочной линии.

• Системы контроля качества продукции, использующие данные тестирования и инспекции.

Связь всех частей производственного процесса через единый концентратор сети в течение многих лет было основной задачей. Агент сообщений CAMX предоставляет превосходный набор инструментов для решения этой задачи. Агент сообщений может быть подключен к нескольким клиентам сразу. Клиентами могут выступать заводское оборудование, управляющий компьютер или концентратор данных на столе менеджера. Система обеспечивает визуальное отображение всего, что руководитель только захочет увидеть. Руководитель может связаться с кем-либо в Сингапуре и проверить состояние производственного процесса по пакету данных в нескольких заданных форматах. Он может выбрать формат и задать программе, как часто необходимо проводить обновления, и агент сделает все остальное.

6.8.2.2 Преимущества обмена данными Большинство производителей оборудования занимаются данной проблемой с давних пор, поэтому они поддерживают усилия CAMX по считыванию информации с машин в стандартном формате. Важнейшим условием для успешного решения данной задачи является использование нового инструмента, технологии «plug-and-play». Любое производственное оборудование

можно подключить к управляющей системе и программам сбора данных. Использование XML в качестве стандарта гарантирует, что не произойдет ни одного неправильного толкования данных. Процесс исправления и совершенствования продукции требует *трассируемости* ошибок, независимо от того, в каком месте она найдена. Очень важно знать источник и причины ошибки.

Кроме того, повышение качества продукции и снижение стоимости требует понимания реального распределения неисправностей. Исторически сложилось так, что одни и те же ошибки называются по-разному в разных точках производственного процесса. Применение стандарта CAMX позволяет называть ошибки одинаково на разных стадиях процесса, тем самым повышая общий уровень понимания.

Компаниям, обслуживающим оборудование для электронной промышленности, стандарты CAMX позволяют обеспечить гибкость производства без потери однородности данных, а также проводить широкий анализ данных независимо от оцениваемого процесса. Программное обеспечение является более упорядоченным и менее сложным, чем системы, разработанные для полупроводниковой промышленности, т.к. сейчас все оборудование соответствует единому стандарту. В результате оборудование проще использовать и проще обслуживать.

Стандартизация открывает возможности проведения более тщательного анализа данных, благодаря снижению трудозатрат по сбору информации. Реализованный по стандарту IPC-2501 CAMX агент организует обработку сообщений на базе веб-ориентированного формата XML для других стандартных словарей IPC. Поставщики оборудования, которым необходимо получить конкретную информацию, просто «подписываются» на приложение или систему с помощью веб-ориентированного универсального SOAP-протокола сообщений XML, независимо от архитектуры других интерфейсов и в определенное время получают ответ. SOAP – это стандарт сообщений XML, поддерживаемый большинством разработчиков компьютеров и программного обеспечения. Он служит фундаментом веб-ориентированных инфраструктур.

Коммуникационная система с использованием формата XML была менее востребована, когда OEM-производители имели собственное производство. Однако с ростом привлечения сторонних организаций для выполнения заказов такой вид вертикальной интеграции стал скорее исключением, нежели правилом. Новые стандарты позволяют производителям оборудования сохранить представления о производственном процессе, потерянные из-за передачи работ субподрядчикам.

Использование универсального формата данных обеспечивает возможность производителям контролировать наличие изделий, чтобы предотвратить простои производственной линии. Производители компонентов могут контролировать использование своей продукции на производстве, соответствующим образом планировать расписание поставок и выполнять другие функции, которые иначе пришлось бы выполнять обслуживающей компании или изготовителю оборудования.

6.8.3 Спецификации Во многих случаях документация ссылается на другие спецификации. Они должны быть ясными и передаваться в той же форме, что и оригинальные данные (бумажный или электронный носитель). В состав пакета необходимо включить схему проверки на совместимость, чтобы деталь можно было испытать разрушающим контролем. Как минимум схема проверки на совместимость должна включать:

• Обозначение номера платы / редакции.

• Идентификация системы прослеживаемости.

• Код даты.

• Идентификатор изготовителя, например логотип коммерческой или правительственной организации (CAGE) и пр.

• Могут использоваться специальные системы кодирования, если они указаны на главном чертеже

7 МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ В КОРПУСЕ BGA НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

7.1 Процесс установки компонентов по технологии поверхностного монтажа Операции установки компонентов BGA являются более простыми, чем операции установки компонентов с малым шагом периметрических выводов. Количество технологических дефектов можно существенно снизить при условии жесткого контроля процесса.

7.1.1 Паяльная паста и ее нанесение В процессе поверхностного монтажа для соединения шариковых выводов BGA с контактными площадками на плате используется паяльная паста. Паяльная паста наносится на площадку тремя способами: нанесением через сетчатый трафарет, нанесением через металлический трафарет и дозированием. Нанесение пасты на контактные площадки для BGA обычно проводится через металлический трафарет через апертуры размером, подобным размеру контактной площадки для BGA.

Толщина трафарета и размер апертур определяют объем пасты, который очень важен для керамических корпусов BGA. При использовании компонентов BGA с малым шагом выводов может понадобиться уменьшить толщину трафарета. Полезно иметь трафареты с апертурами трапециевидного сечения (размер которых внизу слегка больше, чем вверху) для лучшего отделения пасты от трафарета. Обычно на больших компонентах BGA с шагом 1,25 и 1,00 мм апертуры трафарета достаточно велики, поэтому проблем с загрязнением апертур трафарета, точностью нанесения пасты и формой отпечатков меньше, чем в случае компонентов в корпусе QFP.

Паяльная паста состоит из однородной смеси металлического порошка и флюса. Содержание металла (обычно 90%) в паяльной пасте определяет количество припоя в паяном соединении. Наиболее популярным сплавом, используемым в паяльной пасте, является эвтектический сплав Sn63Pb37, а также бессвинцовый сплав SAC 305 (Sn96.5Ag3.0Cu0.5). Частицы металлического порошка обычно имеют форму шариков. Одинаковая форма частиц способствует процессам трафаретной печати и дозирования, а малая площадь поверхности уменьшает окисление.

Другими составными частями паяльной пасты являются флюс и растворители. Активаторы флюса удаляют оксиды с поверхности частиц припоя, контактных площадок и шариковых выводов BGA. Они обеспечивают хорошую

хорошую паяемость в процессе пайки. Шарики припоя, формирующиеся по разным причинам во время пайки оплавлением, отрицательно влияют на надежность, особенно при установке компонентов с малым шагом выводов. Растворители играют важную роль для обеспечения клейкости пасты и влияют на ее реологические свойства. Появление пустот в паяных выводах BGA может быть связано с типом растворителей, использующихся в паяльной пасте. Растворители с низкой точкой кипения и/или с несоответствующими параметрами могут увеличить вероятность возникновения пустот в паяных выводах BGA.

Для успешного выполнения операции трафаретной печати для компонентов BGA с малым шагом пасту необходимо наносить при помощи трафарета с очень малым размером апертур. Паяльная паста должна сохранять клейкость и быть пригодной к использованию в течение длительного периода времени; будучи нанесенной на плату, должна сохранять форму до и в процессе пайки оплавлением. Вязкость паяльной пасты, размер частиц и срок службы трафарета являются главными параметрами, влияющими на успешность использования паяльной пасты.

7.1.1.1 Размер частиц и выбор пасты На рынке существует множество паяльных паст, выбор необходимой зависит от характеристик нанесения, типа флюса и размера частиц. Прежде всего необходимо, чтобы паяльная паста хорошо наносилась, образовывала четкие отпечатки без растекания. Флюс, содержащийся в пасте, должен быть достаточно активным, чтобы обеспечить хорошее смачивание и паяемость, а также быть совместимым с требованиям процесса отмывки или требованиями относительно поверхностного сопротивления изоляции. Важно, чтобы диаметр частиц пасты не превышал размер апертуры трафарета, поделенный на 4,2 (коэффициент, определенный эмпирическим путем). Если это правило не выполняется, ухудшается отделение пасты от трафарета и снижается четкость отпечатков.

Размеры частиц припоя классифицируются в соответствии со стандартом J-STD-005 (см. таблицу 7-1).

Таблица 7-1 Сравнительная характеристика размеров частиц

Тип паяльной пасты	Сетка	Максимальный размер частицы (в мкм)
Тип 2	-200/+325	75
Тип 3	-325/+500	53
Тип 4	-400/+500	38
Тип 5	-500	25

Разброс размеров частиц влияет на вязкость паяльной пасты и четкость рисунка. Паста типа 3 используется наиболее широко, т.к. обладает характеристиками, наиболее адекватными большинству применений. При использовании корпусов CSP с ультрамалым шагом может потребоваться паста типа 4.

7.1.1.2 Толщина трафарета и конструктивное исполнение апертур Как и в случае других компонентов, если шаг компонента BGA уменьшается, необходимо уменьшить толщину трафарета. Для компонентов BGA с шагом от 1,5 до 1,0 мм диапазон изменения толщины трафарета должен составлять от 0,15 до 0,18 мм. Для корпусов типа «chip scale» (CSP) или BGA с малым шагом выводов (не более 0,80 мм) рекомендуется использовать трафареты толщиной от 0,1 до 0,15 мм.

Очень важно сконструировать апертуры трафарета таким образом, чтобы обеспечивалось хорошее отделение пасты от трафарета. Чтобы паста хорошо отделялась от трафарета, рекомендуется использовать апертуры с отношением ширины апертуры к толщине трафарета равным 1,5. Аспектное отношение - это отношение ширины апертуры трафарета к его толщине. Другое общепринятое отношение называется отношением площадей. Рекомендуется использовать отношение площадей, превышающее 0.66. Формула для расчета аспектного отношения площадей выражается, как площадь апертуры трафарета, деленная на площадь стенок трафарета (см. рисунок 7-1).

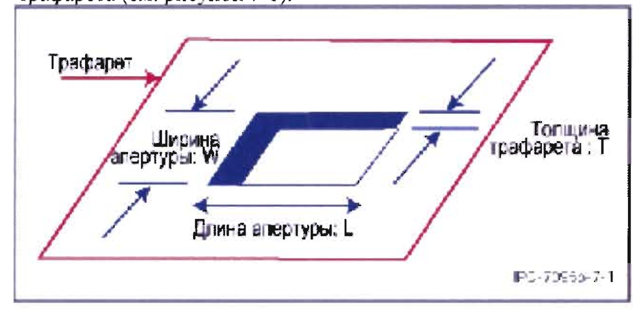


Рисунок 7-1 Аспектное отношение и отношение площадей для полного выхода пасты

Площадь контактной площадки/площадь стенок трафарета равно апертура/площадь стенок апертуры

= L*W/2*(L+W)*T >0.66.

$$\frac{L \times W}{2(L+W)} \times T$$

Примечание: В конструкции апертуры аспектное отношение является более общим показателем, чем отношение площадей, поскольку аспектное отношение является одномерным упрощением отношения площадей при длине площадки, намного превышающей ее ширину, т.е. для квадратной апертуры со стороной 0.35 мм при толщине трафарета 0.125 мм получится следующее значение аспектного отношения:

$$\frac{0.35 \times 0.35}{2(0.35+0.35) \times 0.125} = \frac{0.1225}{0.175} = 0.70$$

Для достижения требуемой величины отношения площадей может потребоваться применение апертур размером большим, чем контактная площадка; это также позволит увеличить пространство для установки компонента. При этом также будет обеспечена лучшая адгезия компонента к контактным площадкам на плате перед пайкой. Для корпусов BGA с малым шагом рекомендуется применять отверстия размером на 50-75 мкм больше контактных площадок. Квадратные ячейки с закругленными углами также обеспечивают лучшее отделение пасты от трафарета и нанесение большего объема пасты.

7.1.1.3 Объем пасты В пластиковых корпусах BGA большая часть объема припоя приходится на шариковые выводы самой детали, поэтому объем пасты не является критичным. Для корпусов BGA с шагом больше 0,80 мм (как для SnPb припоев, так и для бессвинцовых) толщина трафарета определяется типом других компонентов, установленных на печатной плате. Объем припоя и толщина трафарета более критичны для керамических корпусов и корпусов BGA с малым шагом выводов, таких как CSP. Для шариковых выводов керамических корпусов BGA не используется эвтектический сплав, поэтому они не расплавляются в процессе пайки свинцово-оловянными припоями (см. рисунок 7-2).

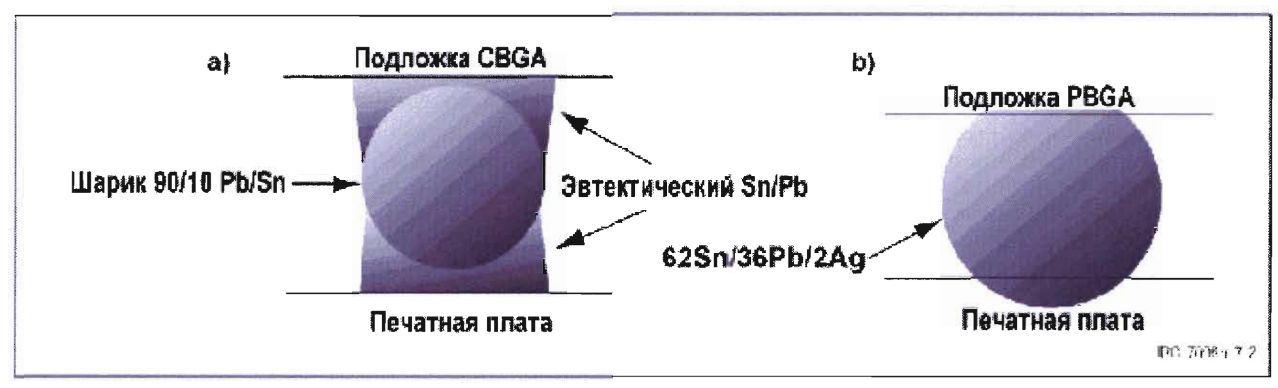


Рисунок 7-2 Сравнение соединений шарикового вывода с высоким содержанием свинца и изготовленного из эвтектического сплава

Для компонентов CBGA, требующих более толстого слоя припоя, можно использовать ступенчатый трафарет. Ступенька обычно составляет 0,04-0,08 мм. Таким образом можно наносить на поверхность платы отпечатки разной высоты. Со ступенчатым трафаретом обычно используется резиновый ракель, однако можно использовать и металлический ракель, если размер ступеньки равен 0,04 мм. Если используется ступенчатый трафарет, линия ступеньки должна отстоять от апертуры как минимум на 3,75 мм. Поскольку шарики с высоким содержанием свинца не расплавляются в процессе пайки, необходимо обеспечить достаточное количество паяльной пасты. Размер галтели между контактной площадкой и шариком зависит от объема пасты. Для создания надежного паяного соединения керамических BGA и CGA требуется минимальный объем паяльной пасты. Многие производители компонентов, выпускаемых по этой технологии, могут указать конкретный объем пасты для поставляемых ими корпусов. В таблице 7-2 приводятся требования по объему пасты для некоторых оловянно-свинцовых и бессвинцовых изделий в керамических корпусах.

Таблица 7-2 Требования по объему пасты для керамических BGA

Компонент	Шаг (мм)	Сплав	Объем (мкм^3)	
			Низкий (мин.)	Высокий (макс.)
CBGA	1.27	Олово/свинец	4800	10000
CBGA	1.27	Бессвинцовый	1500	3000
CBGA	1.00	Олово/свинец	2500	4600
CBGA	1.00	Бессвинцовый	1500	2500
CCGA	1.27	Олово/свинец	3000	7600
CCGA	1.00	Олово/свинец	2000	5000
CuCGA	1.27	Бессвинцовый	3700	4700
CuCGA	1.00	Бессвинцовый	3700	4500

Чтобы получить необходимый для керамического компонента объем паяльной пасты может потребоваться нанесение площадок с применением увеличенной апертуры или более толстого трафарета. Для компенсации большей толщины трафарета на печатной плате с использованием CBGA следует изменить размер апертур для других компонентов или применить ступенчатый трафарет.

7.1.2 Особенности установки компонентов Технология BGA предъявляет определенные новые требования к установочному оборудованию. В зависимости от типа системы для установки компонентов может потребоваться модернизация механизма подачи компонентов от матричного поддона к позиции захвата. Также может быть полезным применение локальных реперных знаков для определения видеосистемой точного положения точки установки компонента BGA, подобно тому, как они используются для компонентов с периметрическим расположением выводов. Для установки компоненты BGA большого размера из блистерной ленты необходимо применение питателей шириной 44 и 56 мм.

7.1.3 Видеосистемы, используемые для установки компонентов Точность установки является важнейшим условием применения технологии BGA. В отличие от некоторых компонентов поверхностного монтажа, не рекомендуется корректировать ошибки позиционирования корпусов BGA после установки; это может привести к замыканию смежных паяных соединений, поскольку их невозможно наблюдать визуально. Точность системы установки во многом зависит от видеосистемы и способности захвата удерживать компонент. Также важно соответствие видеосистемы устанавливаемым компонентам. Видеосистема определяет линейное (X, Y) и угловое (тета) смещение каждого компонента перед его установкой. Кроме того, видеосистема также может проверять правильность размеров компонента и наличие пропущенных шариков. В системах на основе ПЗС-камер применяется два метода освещения: бинарный и на основе шкалы уровней серого. Оба метода чувствительны к контрасту и изменению освещенности.

В системах на основе шкалы серого используется фронтальное освещение, которое подсвечивает компонент снизу. Элементы поверхности проецируются в ПЗС-камеру для последующей обработки. В бинарных системах компонент освещается сверху. Очертания компонента проецируются в объектив ПЗС-камеры для дальнейшей обработки. Бинарные системы, в которых распознавание деталей производится на основе контраста между черной и белой картинкой, являются более старыми из этих двух систем. В системах на основе шкалы серого обычно имеется 256 уровней яркости. В обеих системах используется специальный алгоритм определения центра компонента. Бинарная система требует меньше вычислительных мощностей, чем система на основе уровней серого.

В видеосистеме на основе шкалы серого определение центра компонента BGA производится по положению шариковых выводов, а в бинарной – по очертанию корпуса. В некоторых случаях существует значительное отклонение между очертанием BGA и положением шариковых выводов.

Система на основе шкалы серого предпочтительнее для установки компонентов BGA, т.к. она позволяет уменьшить ошибку, возникающую из-за различий очертаний компонентов.

Конструкция вакуумных захватов систем для установки компонентов на плату отличается в зависимости от производителя. Следует выбирать захват с достаточной площадью поверхности во избежание смещения компонента в процессе установки. Захват должен быть оснащен уплотнением, чтобы не допустить утечку вакуума. Желательно, чтобы система обладала тактильной чувствительностью, которая поможет контролировать ход установочной головки по оси Z (по вертикали), т.к. это предотвращает опасность того, что компонент будет поврежден из-за слишком высокого усилия прижима к плате.

7.1.4 Пайка оплавлением и температурные профили пайки Пайка оплавлением – это сложный процесс, на результат которого оказывает влияние большое количество переменных. Все системы пайки для массового производства используют конвективные, теплопроводные и радиационные средства теплопередачи. Степень доминирования какого-либо способа зависит от конструкции системы. Несмотря на различие конструкций печей, все они преследуют одну основную цель. Процесс пайки состоит из пяти этапов: (1) испарение растворителей из паяльной пасты; (2) активация флюса и его работа; (3) предварительный нагрев компонентов и печатной платы; (4) расплавление припоя и обеспечение смачивания припоем контактных площадок и выводов; (5) охлаждение спаяного печатного узла.

Необходимо понимать, что независимо от используемого принципа передачи тепла для оплавления, шариковые выводы под компонентом BGA нагреваются в основном за счет передачи тепла через коммутационную подложку. Обоснование этого положения показано на рисунке 7-3.

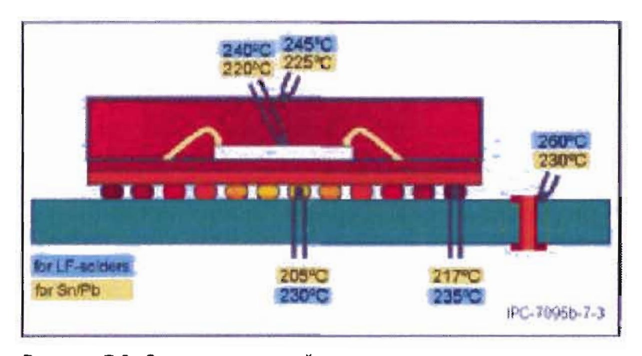


Рисунок 7-3 Значения пиковой температуры оплавления в различных точках компонента BGA и вблизи него

За много лет паяльное оборудование часто менялось. В нем использовались четыре принципа нагрева: нагрев в паровой фазе, инфракрасный с ламповыми нагревателями, инфракрасный с нагревателями панельного типа и, самый последний, вынужденная конвекция газа. Технология пайки в паровой фазе появилась первой и была популярна в течение нескольких лет. Однако в конце концов наибольшее распространение получил инфракрасный способ нагрева. На сегодняшний день технология вынужденной конвекции газа с инфракрасной поддержкой является наиболее предпочтительной, в частности, при необходимости создания атмосферы инертного газа в печи.

7.1.4.1 Принудительная конвекция газа В настоящее время предпочтительным методом является конвекционный нагрев. Тепло подводится к печатному узлу (ПУ) нагретым газом, движущимся с небольшой скоростью. Вынужденная конвекция газа – это бесконтактный метод нагрева, при котором часть тепла передается за счет теплового излучения. Количество теплоты, передаваемое нагреваемой плате, прямо пропорционально разности температур нагретого газа и ПУ.

Конвекционные печи оплавления, встраиваемые в линию, состоят из трех основных секций: (1) предварительный нагрев; (2) секция пайки и (3) секция охлаждения. Каждая секция состоит из верхней и нижней зон. Количество зон непосредственно влияет на скорость движения платы по конвейеру и гибкость в выборе температурного профиля пайки. Добавление большего количества зон позволяет достигать большей скорости движения платы по конвейеру и более точного подбора профиля. Низкопроизводительные установки пайки состоят из трех или четырех зон (зона включает в себя верхний и нижний нагреватель). Среднепроизводительные паяльные системы состоят из пяти или шести зон, а высокопроизводительные – семи и более. Обычно установка пайки из шести зон удовлетворяет всем требованиям пайки, включая очень большие печатные узлы (ПУ) и довольно высокие скорости движения (до 60 см в минуту). Изменение профиля проводится при помощи регулировки скорости движения, а также температуры верхних и нижних нагревателей.

7.1.4.2 Атмосфера оплавления Газовая среда в печи оплавления влияет на смачивание припоем. Выполнение оплавления в среде азота улучшает смачивание паяных соединений. Иногда это позволяет скомпенсировать недостаточное смачивание контактной поверхности, а также окисление припоя шариковых выводов. Для того, чтобы извлечь максимальные преимущества от использования паяльных паст в среде азота, рекомендуется контролировать содержание кислорода и удерживать его в пределах, заданных для технологического процесса.

С переходом производства на бессвинцовую технологию выяснилось, что бессвинцовые паяльные пасты не обеспечивают столь же равномерного смачивания, как оловянно-свинцовые. Кроме того, может происходить истощение активаторов, добавляемых в паяльную пасту для удаления перед оплавлением окислов, содержащихся в пасте, на контактных площадках и шариках. В результате образуется паяное соединение неоднородной формы и возрастает вероятность плохой смачиваемости площадок. Некоторые составы паяльных паст склонны к образованию пустот под воздействием атмосферы при оплавлении. Для бессвинцовых процессов с использованием финишных покрытий OSP рекомендуется осуществлять пайку изделий в среде азота, а также применять OSP, специально разработанные для высоких температур оплавления, имеющих место при бессвинцовой пайке.

Кроме того, выполнение пайки OSP в среде азота может сохранить смачиваемость площадок для последующих технологических операций, а также свести к минимуму влияние окисления контрольных точек и переходов на результаты внутрисхемного тестирования (ICT).

7.1.4.3 Временные / температурные профили Профиль пайки, иначе называемый температурным профилем, является одной из ключевых переменных в производственном процессе, существенно влияющих на выход годных изделий. Переменными, учитываемыми при разработке профиля пайки, являются скорость конвейера и температура панелей. Профиль пайки зависит не только от изделия, но и от используемого флюса. Для получения оптимальных характеристик различные пасты требуют разных профилей, поэтому перед разработкой профиля пайки необходимо проконсультироваться у производителя паст.

При разработке профиля потребуется плата с установленными компонентами, для которой разрабатывается профиль.

Начинайте при заданной скорости конвейера и контролируйте температуру на верхней стороне платы при помощи термопар. У большинства новых печей оплавления имеются встроенные термопары и программное обеспечение для регистрации температурного профиля. Кроме того, существуют коммерческие версии аппаратного и программного обеспечения, например, MOLE и многие другие системы, т.н. профайлеры, что позволяет значительно облегчить задачу разработки температурного профиля. Применение подобных профайлеров приобрело важное значение в сборочных процессах оловянно-свинцовой технологии. В настоящее время применение профайлеров является не только важным, но и критически необходимым, поскольку позволяет обеспечить высокий выход годных любой продукции за счет соблюдения ограничений на превышение температуры для компонентов различных типов. В таблице 7-3 приведены основные профили оплавления для сборочных процессов по оловянно-свинцовой и бессвинцовой технологии.

Таблица 7-3 Сравнение профилей для сплавов SnPb и SAC

Характеристики профиля	Сплав SnPb	Бессвинцовый сплав (SAC)
Температура солидуса	183°C	217-220°C
Диапазон температур пайки	210-220°C	235-245°C
Минимальная пиковая температура оплавления**	205°C	230°C
Скорость прогрева компонентов	2-4°C в секунду*	2-4°Cв секунду*
Скорость охлаждения компонентов	2-6°C в секунду*	2-6°C в секунду*
Температура стабилизации или активации флюса	100-180°C*	140-220° C*
Время стабилизации или активации флюса	60-120 секунд*	60-150 секунд*
Выдержка выше точки ликвидуса	60-90 секунд	60-90 секунд
Выдержка при пиковой температуре	20 секунд макс.	20 секунд макс.

* Уточнить у поставщика
** Самая низкая температура на плате

Для оловянно-свинцовых сплавов в промышленности был достигнут всеобщий консенсус относительно состава припоя: эвтектический сплав, содержащий 63% олова и 37% свинца с точкой плавления 183°C. Для этого состава характерно большое различие между точкой плавления (183°C) и пиковой температурой (220°C). Несмотря на то, что рекомендуется поддерживать температуру на плате в пределах 210-220°C, на практике эти пределы можно было расширить до 190-225°C, и при разбросе почти 35°C получать хорошие результаты пайки оплавлением. В настоящее время ситуация изменяется.

В бессвинцовых сборочных процессах наиболее широко используется припои SAC (Sn, Ag и Cu), содержащие от 3 до 4% серебра, от 0.5 до 0.7% меди, а остальное - олово. Эти сплавы имеют точку плавления около 220°C. Для ряда компонентов, например, алюминиевых электролитических конденсаторов, накладываются ограничения на максимальное значение температуры и продолжительность воздействия температуры выше 230°C, которым они могут подвергаться.

Дополнительные ограничения могут накладываться в случае использования недорогих ламинатов, пластиковых разъемов и чувствительных к влаге компонентов.

Для удовлетворения этих ограничений пиковая температура в бессвинцовых сборочных процессах должна поддерживаться в пределах 230-245°C, и отклонение всего на 15°C - это достаточно жесткий допуск. Это почти на 60% меньше отклонения в 35°C , допускаемого для оловянно-свинцовых сборок, упоминавшихся выше. Сложность получения профиля оплавления, отвечающего технологическим допускам процесса, дополнительно возрастает при установке на одной плате компонентов с большой тепловой массой и небольших компонентов, чувствительных к температуре. Причины этого очевидны. Крупные компоненты требуют большего подвода тепла для удовлетворения допусков технологического процесса по пиковой температуре и времени выдержки выше точки ликвидуса. Однако, значительный подвод тепла может привести к тому, что небольшие и чувствительные к температуре компоненты окажутся в условиях, выходящих за допустимые пределы. Для разрешения этой проблемы необходимо осуществлять жесткий контроль процесса и поддерживать температуру в узком диапазоне по всей поверхности платы. В связи с необходимостью удовлетворения этих требований у многих сборочных компаний могут наступить тяжелые времена, если они согласуют затраты времени и усилий на разработку профилей оплавления.

Проблема может еще более осложниться вопросами обратной совместимости при установке бессвинцовых компонентов на преимущественно оловянно-свинцовую плату. В таких случаях профили оплавления должны отвечать требованиям для корпусов, изготовленных и по оловянно-свинцовой технологии, и по бессвинцовой.

На рисунках с 7-4 по 7-7 показаны схематические и реальные профили для оловянно-свинцовой и бессвинцовой технологий, а также для сборок, содержащих оловянно-свинцовые и бессвинцовые компоненты.

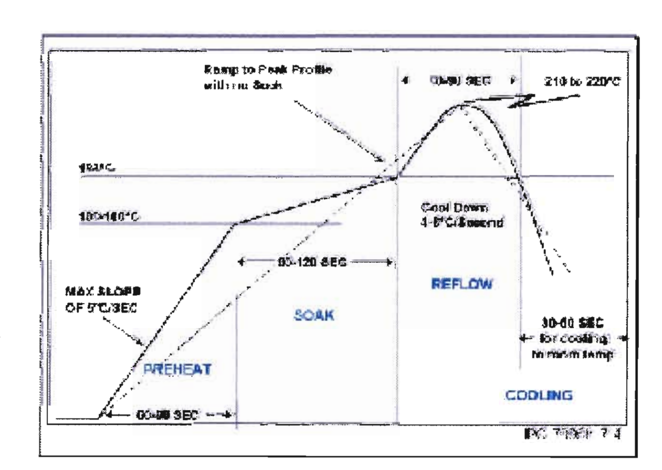


Рисунок 7-4 Схема профиля оплавления для оловянно-свинцовых сборок

7.1.4.4 Зона предварительного нагрева В зоне предварительного нагрева температура составляет 30-175°C и

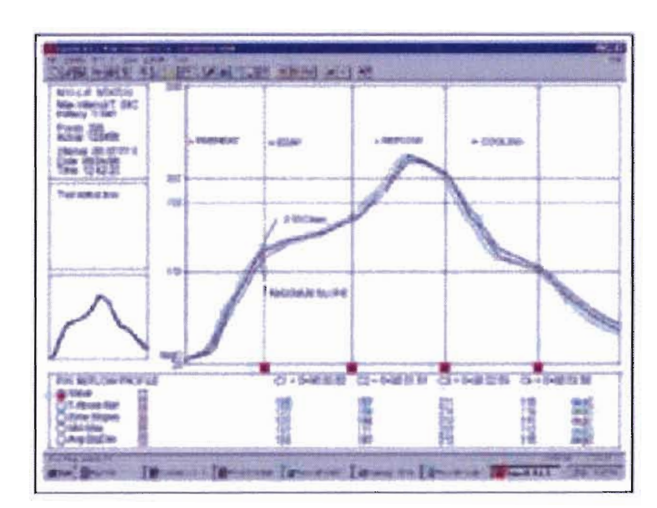


Рисунок 7-5 Пример оловянно-свинцового профиля с несколькими термопарами

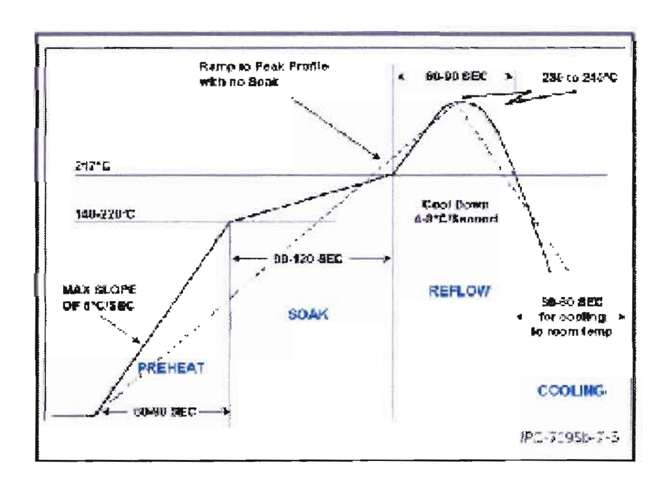


Рисунок 7-6 Схема профиля оплавления для бессвинцовых сборок

общей рекомендацией поставщиков компонентов является подъем со скоростью 2-3 °C в секунду во избежание воздействия теплового удара на чувствительные компоненты. Эти рекомендации можно считать консервативными, поскольку при пайке волной некоторых типов конденсаторов они разогреваются от температуры предварительного нагрева порядка 120°C до температуры ванны 260°C. Увеличенная скорость подъема повышает потенциал стойкости шариковых выводов, и ее ограничение должно быть обоснованным, во всяком случае, использование скорости 5°C в секунду достаточно безопасно; однако, при этом следует учитывать значение скорости подъема, приемлемое для наиболее чувствительных компонентов в сборке.

7.1.4.5 Присоединение термопар На рисунке 7-8 показано рекомендуемое расположение термопар на плате. Важное значение имеет место присоединения термопар - они должны быть установлены на паяных соединениях небольших и крупных компонентов. Кроме того, для компонентов BGA необходимо установить термопару поверх корпуса.

При разработке любого профиля имеет значение тип используемых термопар. Следует использовать термопары типа k, изготовленные из проволоки сортамента 36 AWG. Более толстые термопары создают излишний теплоотвод. Для обеспечения точности длина проводов термопар не должна превышать трех футов (90 см). По этой же причине

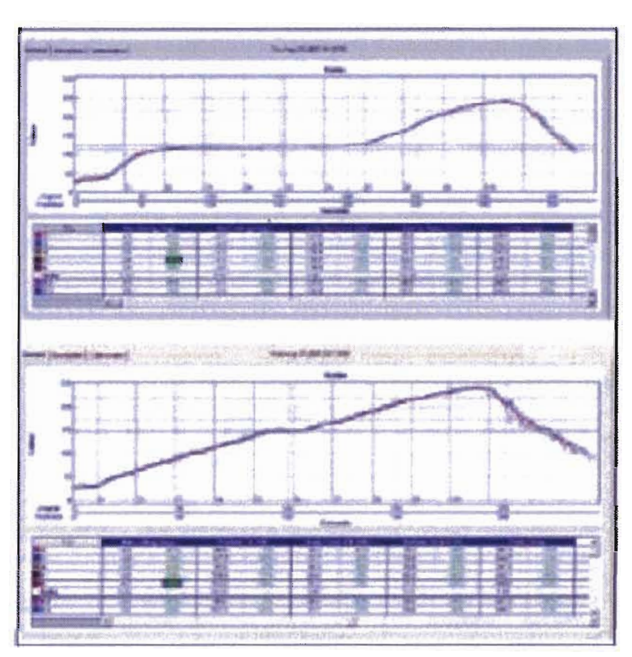


Рисунок 7-7 Примеры бессвинцовых профилей с зоной стабилизации (вверху) и плавным подъемом до пиковой температуры (внизу) с использованием нескольких термопар. Профили, имеющие зону стабилизации, способствуют снижению образования пустот в выводах BGA.

соединения термопар должны быть сварными. Соединение скруткой, опрессовкой или пайкой не допускается.

Необходимо соблюдать предосторожности при использовании высокотемпературных лент, изготовленных из полиимида (каптон) или алюминия. Ленты имеют тенденцию к ослаблению во время оплавления, вследствие чего система измеряет температуру воздуха в печи, а не температуру паяных соединений. Важно, чтобы лента обеспечивала надежный контакт; в противном случае для присоединения термопар к паяным соединениям следует использовать высокотемпературный припой или теплопроводящий клей. Преимуществом применения лент является возможность повторного использования термопар без их повреждения.

Для корректного измерения температуры шариковых выводов BGA просверлите отверстия в центральном и угловых шариках с нижней стороны платы и протолкните термопары вверх. Важно, чтобы разность температур центрального и углового шариков на одном корпусе BGA не превышала 2°C. Можно также поместить термопары под корпус BGA, что исключает процесс сверления отверстий; однако, в этом случае термопары могут измерять лишь температуру под устройством.

Для представительных измерений в областях с самой низкой и самой высокой тепловой массой необходимо присоединить к различным компонентам от четырех до шести термопар, в том числе не менее двух термопар для BGA. На рисунке 7-9 показано расположение термопар на корпусе BGA.

7.1.4.6 Зона стабилизации Зона стабилизации предназначена для равномерного распределения температуры по всей поверхности платы. Скорость подъема температуры в это зоне очень мала, и характеристика получается почти плоской в диапазоне 75-220°C. Зона стабилизации выступает также в качестве зоны активации флюса, содержащегося в паяльной пасте. Слишком высокая температура в зоне стабилизации

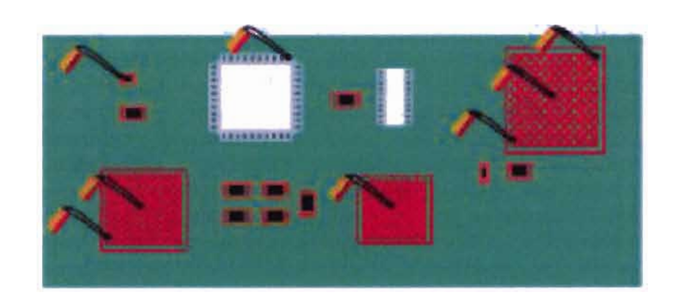


Рисунок 7-8 Расположение термопар на плате с крупными и мелкими компонентами

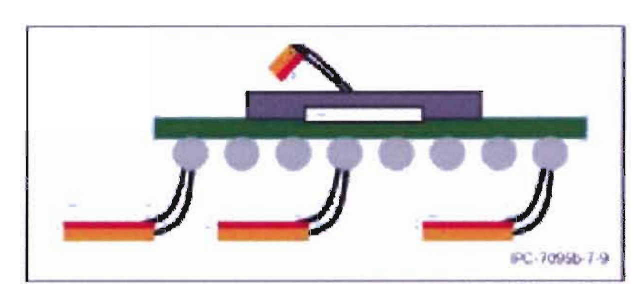


Рисунок 7-9 Рекомендуемое расположение термопар на корпусе BGA

вызывает разбрызгивание припоя из-за чрезмерного окисления пасты и влияет на способность к активации израсходованного флюса. Длинная зона стабилизации необходима для сведения к минимуму образование пустот, особенно в соединениях BGA. Общепринятой практикой является отказ от использования зоны стабилизации, и температура возрастает с постоянной скоростью от зоны предварительного нагрева до пиковой температуры оплавления. Однако при равномерном подъеме до пиковой температуры оплавления возрастает вероятность образования пустот.

7.1.4.7 Зона оплавления Пиковая температура в зоне оплавления должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить необходимое воздействие флюса для хорошего смачивания припоем и создания прочной металлургической связи. Однако она должна быть не настолько высокой, чтобы стать причиной повреждения компонентов или потемнения, либо, в худшем случае, обугливания платы. При слишком низкой температуре возможны явления "холодной" пайки, непроплавления и зернистости паяных соединений, а также образования слабых интерметаллических соединений. Для бессвинцовой технологии пиковая температура в этой зоне должна поддерживаться в пределах 230-245°C. Время выдержки выше точки ликвидуса (time above liquidus -TAL) должно выбираться в пределах от 60 до 90 секунд. Увеличение выдержки при температуре выше точки плавления припоя или TAL вызовет повреждение компонентов, чувствительных к температуре. Кроме того, увеличение выдержки будет сопровождаться чрезмерным ростом интерметаллических соединений, которые придают паяным соединениям хрупкость и снижают их усталостную стойкость.

7.1.4.8 Зона охлаждения Скорость охлаждения паяных соединений после оплавления тоже имеет важное значение. Чем выше скорость охлаждения, тем меньше размер зерен в припое, то есть выше усталостная прочность паяных соединений. Поэтому скорость охлаждения должна быть как можно более высокой. Однако с практической точки зрения средств управления скоростью охлаждения не так уж и много, разве что проверка работоспособности вентиляторов, установленных в конце печи. В какой-то степени охлаждением можно управлять путем изменения скорости вентиляторов, либо применяя холодильные аппараты в зоне охлаждения. При неработающих вентиляторах скорость охлаждения очень мала. Это приведет к росту размеров зерен и относительному ослаблению паяных соединений. Существуют мнения, что снижение скорости охлаждения помогает ослабить явление кратеринга площадок (образование лунок) паяных соединений, получаемых по бессвинцовой технологии. Однако кратеринг площадок определяется свойствами слоистых материалов и сравнительно более высокой твердостью большинства бессвинцовых сплавов из-за отсутствия мягкого свинца.

Получение требуемого времени и температуры, а также ее равномерности на поверхности платы во всех четырех зонах с точностью 5-10°C следует считать двумя основными целями при разработке профиля оплавления. Продолжайте подбор настроек панели и скорости конвейера, пока обе эти цели не будут достигнуты, даже если на это будет затрачена половина рабочего дня. Разработка правильного профиля с узким диапазоном температур напоминает использование метода проектирования с учетом технологических требований (DfM) – они являются ключом к достижению хорошего выхода годных изделий, и выполняются только один раз.

7.1.4.9 Температурный профиль для обратной совместимости

Разработка профиля оплавления осложняется при столкновении с вопросами обратной совместимости, когда на изначально оловянно-свинцовую плату монтируются бессвинцовые компоненты. Необходимость обеспечения обратной совместимости возникает тогда, когда некоторые из компонентов доступны только в бессвинцовом исполнении. Подобная ситуация возникает вследствие того, что большинству поставщиков компонентов экономически не выгодно выпускать один и тот же компонент в оловянно-свинцовом и бессвинцовом вариантах. При использовании компонентов с выводами, например, ИС в корпусе типа SO (SOIC) или пластиковых кристаллодержателей (PLCC) либо компонентов с малым шагом и бессвинцовым покрытием подобных проблем не возникает. Большинство оловянно-свинцовых компонентов изначально имеют финишное покрытие, содержащее приблизительно 85% олова и 15% свинца. При отказе от использования свинца производители наносят покрытия из чистого олова; однако, при этом ухудшается паяемость. Для устранения этого недостатка в сплав покрытия добавляют до 5% висмута, что повышает смачиваемость или паяемость детали.

Настоящая проблема появляется при установке бесвинцовых компонентов BGA на несущую оловянно-свинцовую плату. При использовании оловянно-свинцового профиля с максимумом пика температуры 220°C бессвинцовые шариковые выводы BGA не оплавятся либо оплавятся лишь частично, что создаст серьезную проблему надежности паяного соединения.

При выполнении пайки оловянно-свинцовых компонентов совместно с бессвинцовыми корпусами BGA в одной и той же печи (поскольку оловянно-свинцовые варианты корпусов были недоступны), должна использоваться пиковая температура, не вызывающая повреждения оловянно-свинцовых компонентов, но достаточная для оплавления выводов бессвинцовых BGA. Оправданным является применение оловянно-свинцовых паяльных паст, так как большинство компонентов на плате выполнены по оловянно-свинцовой технологии. Таким образом, пиковая температура 210-220°C подходит для оловянно-свинцовых выводов, но не подходит для бессвинцовых шариков BGA, имеющих точку плавления 217-221°C. Зато температура порядка 228-232°C с выдержкой от 45 до 60 секунд выше точки ликвидуса или TAL

будет достаточной для пайки бессвинцовых BGA и не причинит серьезных повреждений всем оловянно-свинцовым компонентам, установленным на той же плате.

Если в ситуации обратной совместимости сложно обеспечить узкий диапазон температур 228-232°С для пайки оловянно-свинцовых компонентов и бессвинцовых BGA, рассмотрите возможность селективной лазерной пайки BGA с бессвинцовыми выводами после того, как будет выполнена пайка всех остальных компонентов в печи оплавления, либо найдите альтернативный источник поставок компонентов BGA с оловянно-свинцовыми шариками.

7.1.4.10 Уникальный профиль для каждого печатного узла Некоторые специалисты заблуждаются, считая, что с одним профилем температур конвекционной печи можно паять все платы, и поэтому нет необходимости разрабатывать уникальный профиль для каждой платы. Это совсем не так, хотя бы потому, что каждая из плат имеет отличающуюся от других тепловую массу; кроме того, возможны различные схемы загрузки печи (расстояние между платами при их подаче в печь). Даже для одинаковых двухсторонних плат может потребоваться различный профиль для каждой из сторон, в зависимости от расположения компонентов и распределения слоев меди. И еще одним заблуждением является мнение, что при необходимости изменить профиль достаточно просто изменить скорость конвейера. Действительно, изменить скорость конвейера легко, но этот подход может оказаться неправильным. При изменении скорости конвейера изменяется температура платы в каждой из зон.

После получения нужного профиля запустите в печь реальную производственную плату с паяльной пастой и компонентами. После оплавления проверьте качество паяных соединений. Случайные проблемы на определенном участке платы могут быть связаны с паяемостью, но повторяющиеся проблемы на данном участке могут быть обусловлены профилем пайки, в частности, неравномерным нагревом (широкий диапазон рабочих температур). Следует отметить, что повторяющиеся проблемы могут быть связаны также с качеством пасты и конструкцией контактных площадок.

После того как полученные результаты будут сочтены удовлетворительными (включая оптимизацию конструкции и других материальных факторов), задокументируйте профиль. С этого момента внесение любых изменений в профиль недопустимо.

7.1.5 Особенности используемых материалов Флюс применяется с двумя основными целями. Во-первых, он должен удалять загрязнения, во-вторых, защищать паяемые поверхности после удаления загрязнений. Распространенной ошибкой является использование временного / температурного профиля, при котором флюс расходуется до начала плавления припоя. В идеале флюс должен быть израсходован, как только припой начинает плавиться. Время активации варьируется между 90 и 120 секундами. Обычно флюс активизируется при температуре около 130°С. При бессвинцовой пайке температура активации паяльной пасты будет выше, около 150°С; рекомендуется поддерживать связь с поставщиком паяльных паст, чтобы иметь возможность уточнить характеристики для пасты определенного типа.

Компоненты могут быть повреждены неправильном подводом тепла. Для всех компонентов существует предельное время, в течение которого их можно нагревать. Большинство компонентов поверхностного монтажа, содержащих оловянно-свинцовые сплавы, должны выдерживать пиковую температуру 220°С в течение 60 секунд. Для бессвинцовых BGA устанавливается более высокая температура, приблизительно равная 240-260°С. Термоудар, вызванный быстрым нагревом, может повредить определенные компоненты. Однако, поскольку пиковая температура разных печей отличается, необходимо нагреть припой до температуры пайки 210°С - 220°С для изделий, изготовленных по оловянно-свинцовой технологии и 235 - 245°С для бессвинцовых изделий.

Также на паяемость влияет покрытие выводов компонентов. На сегодняшний день используется несколько видов покрытий выводов, включая сплав олова со свинцом, золото, олово и палладий. Важно выбрать флюс и припой, совместимые с материалом покрытия выводов компонента.

7.1.6 Пайка в паровой фазе Оплавление в паровой фазе может проводиться как при помощи одной, так и двух жидкостей, первичной и вторичной. Первоначально процесс был рассчитан на использование двух жидкостей в печах периодического действия, но современные системы, встраиваемые в линию, обычно работают с одной жидкостью. Какая бы система не использовалась, максимальная температура, достигаемая в паровой фазе, зависит от выбора первичной жидкости. Существуют разные первичные жидкости, обычно с рабочими температурами от 218 до 222°С при использовании оловянно-свинцовых сплавов и 235-245°С для изделий, не содержащих свинец. В качестве первичных жидкостей используются перфторуглероды, базовая структура которых (амины, циклические или эфиры) определяет их главные свойства: стабильность в эксплуатации, растворяемость химических веществ паяльной пасты, а также экономические свойства процесса. Выбор материала обычно зависит от температуры плавления припоя, используемого для пайки.

Нижние температуры из приведенного диапазона подходят для типичных сплавов на основе олова-свинца и олова-свинца-серебра, используемых для стандартной пайки. Температуры верхней границы диапазона применяются для сплавов с высоким содержанием свинца, которые используются для пайки выводов корпусов PGA. Для пайки специальными сплавами создавались смеси двух первичных жидкостей в целях подбора необходимой температуры устойчивого кипения. Повышение температуры позволяет уменьшить период пайки, что может дать преимущества при использовании некоторых паяльных паст.

Первичная жидкость, применяемая в процессе пайки в паровой фазе, должна быть инертной и не оставлять остатков, которые придется впоследствии удалять. Химические составляющие паяльной пасты, растворяемые в нагретом паре, откладываются на поверхности плат. Такие отложения удаляются с трудом. Снижение количества отложений паяльной пасты в первичной жидкости приведет к увеличению срока службы жидкости, предотвратит рост температуры кипения из-за включений составляющих пасты и упростит отмывку.

В качестве вторичной жидкости для создания паровой подушки ранее использовался фторированный материал с пониженной температурой кипения CFC-113, который состоит из дешевой расходуемой "крышки" поверх более дорогого первичного материала. Постоянный контакт с первичным материалом с высокой температурой кипения на границе

раздела двух сред может привести к термическому распаду вторичного материала и образованию кислотных паров HCl (хлористый водород) и HF (фтористый водород). Эти агрессивные пары со временем разъедают поверхность паяльного оборудования. Хотя теоретически пары могут абсорбироваться флюсом и ухудшить надежность печатных узлов специального применения, на практике этот эффект незначителен по сравнению с воздействием на оборудование. Для замены CFC-113 был разработан перфторуглерод с низкой температурой кипения. Это вторичная жидкость второго поколения оказалась более стабильной, чем CFC-113, и выдерживает длительное воздействие паров первичной жидкости с высокой температурой кипения.

С развитием технологии поверхностного монтажа большинство пользователей обратилось к высокопроизводительным установкам, встраиваемым в линию, в которых используется технология с применением единственного материала. Удаление флюса после пайки в паровой фазе проводится при помощи биполярной растворяющей смеси или смеси на водной основе, которая обеспечивает очистку всех остатков паяльной пасты, с выбором процесса отмывки в зависимости от составляющих пасты. Вторичными факторами, влияющими на выбор технологии, могут быть: совместимость и зазор между компонентами и ПП. Кроме того, большинство компаний уделяет серьезное внимание вопросам утечек реактивов при использовании оборудования этого типа, поскольку многие перфторсоединения являются весьма долговечными и влияют на глобальное потепление климата.

7.1.7 Отмывочные и безотмывочные процессы Выбор технологического сочетания паяльная паста / флюс имеет большое значение. Используется два основных типа материалов, один из которых требует очистки от остаточных загрязнений, а другой может оставаться на поверхности печатной сборки, не вызывая повреждений.

7.1.7.1 Остатки флюса, требующего отмывки (Clean)

Остаточные загрязнения, требующие отмывки, можно разделить по типу химических реактивов, необходимых для их удаления - обычно это растворители и поверхностноактивные вещества, обычная или деионизованная вода. Выбор промывочной жидкости проводится на основе тщательной оценки технических и экономических факторов, а также факторов защиты окружающей среды.

В общем случае отмывка под корпусами BGA является сложным процессом, так как в зазорах между платой и компонентами может остаться флюс, который трудно удалить во время отмывки. Захваченные остатки флюса, требующие отмывки, обычно обладают высокой химической агрессивностью, поэтому эта ситуация может повлечь за собой серьезные проблемы надежности. Однако если процесс отмывки и оборудование выбраны правильно, если процессы пайки и отмывки находятся под контролем, то очистка под корпусами BGA не вызывает затруднений. Кроме того, если используются пасты, не требующие отмывки, необходимо очищать трафареты для обеспечения качества нанесения. Однако необходимо подчеркнуть, что важно обеспечить качественный контроль процесса, если используются агрессивные водорастворимые флюсы.

При организации процесса отмывки водорастворимых паяльных паст, необходимо уделить особое внимание контролю степени очистки под низкопрофильными корпусами BGA или CSP, а также разъемами BGA. Для проверки полноты удаления остатков флюса между шариковыми выводами BGA и настройки параметров процесса отмывки обычно используется метод поверхностного сопротивления изоляции (SIR). Для контроля процесса после квалификационных испытаний рекомендуется использовать другие методы, в частности, ионную хроматографию или ионографию.

7.1.7.2 Остатки флюса, не требующего отмывки (No-Clean) Флюсы, не требующие отмывки, используются все чаще из-за экологических проблем с флюсами, требующими отмывки, необходимости утилизации отработанных растворителей и стоимости оборудования для очистки. Однако, использование флюсов, не требующих отмывки – это не автоматический процесс. Флюсы, не требующие отмывки, не обладают такой активностью, как флюсы других типов, поэтому результаты пайки могут быть хуже, чем ожидалось, если не предприняты адекватные меры. Некоторые из не требующих отмывки флюсов требуют применения среды азота при оплавлении для получения приемлемых результатов, однако для большинства доступных в настоящее время флюсов оплавление выполняется в воздушной атмосфере.

Флюсы, не требующие отмывки, должны быть достаточно инертными, чтобы не повреждать печатную плату или компоненты. Часто остатки флюса имеют слабую щелочную или кислотную реакцию и могут являться потенциальной причиной отказа изделия. К возможным видам отказов, вызываемых этими остатками, относятся:

1. Коррозия печатной платы.

2. Короткое замыкание между металлическими дорожками из-за роста дендритов.

3. Функциональная деградация ИС, вызванная диффузией ионов загрязняющих веществ в активные переходы кристалла.

Первые два вида отказов являются поверхностными явлениями. Их влияние можно обнаружить на поверхности платы, и инкубационный период для них достаточно короткий. Эти механизмы отказа определяются при помощи теста поверхностного сопротивления изоляции (SIR) или теста электрохимической миграции (ECM). Третий вид отказа зависит от продолжительности времени диффузии ионов сквозь герметизацию корпуса к области расположения кристалла. Достигнув кремниевого кристалла, посторонние ионы могут повлиять на его функционирование. В обычных условиях эксплуатации время диффузии обычно измеряется годами. Для обнаружения этого эффекта в течение приемлемой длительности периода испытаний необходимо применить один из видов ускоренных тестов SIR или ECM. Кроме того, все не требующие отмывки флюсы, используемые в составе паяльных паст, флюсы для пайки волной и даже применяемые при ремонте флюсы могут задерживаться на печатной сборке, образуя смеси. Для понимания картины степени очистки в целом рекомендуется выполнить испытания этих флюсов в сочетании и по отдельности.

7.1.8 Зазор между компонентом и платой Зазор между корпусом и платой является одним из основных параметров, определяющих надежность паяных соединений BGA. Зазор между компонентом BGA и платой определяется как расстояние между контактной площадкой на нижней поверхности подложки компонента и контактной площадкой на верхней стороне платы. Это расстояние варьируется в зависимости от типа шарикового вывода: высота шарикового вывода с высоким содержанием свинца сохраняется неизменной после пайки; высота шарикового вывода из эвтектического сплава уменьшается.

Этот эффект также известен как «высота осадки шарикового вывода» (ball collapse height). Во время пайки корпуса BGA на плате шарики «осаживаются», зазор между корпусом и платой уменьшается на 0,25-0,30 мм по сравнению с высотой перед началом пайки. Шариковые выводы с высоким содержанием свинца и меди не осаживаются, потому что они не плавятся. При настройке технологического процесса необходимо контролировать величину зазора для бессвинцовых корпусов BGA. Рекомендуется отладить процесс таким образом, чтобы обеспечить воспроизводимость величины зазора для определенных компонентов.

Факторами, определяющими зазор между корпусом BGA и платой, являются масса корпуса BGA, размер и материал шарика, размер контактной площадки и ее тип (ограничена паяльной маской или нет). Зазор уменьшается с увеличением массы корпуса. Однако для корпусов с большим количеством шариков масса корпуса оказывает меньшее влияние на изменение высоты. На основе анализа взаимосвязи между этими двумя параметрами сделан вывод о том, что пятикратное увеличение массы корпуса BGA приводит к уменьшению высоты на 0,05 мм для корпуса с 615 контактами с шагом 1,27 мм.

Чем больше размер шарика, тем больше зазор между корпусом и платой за счет большего объема припоя на каждом контакте. Зазор обратно пропорционален диаметру контактной площадки. Для контактных площадок, не ограничиваемых паяльной маской (NSMD), отсутствие паяльной маски за краем площадки может привести к уменьшению зазора, т.к. припой будет растекаться вдоль поверхности проводников и обтекать контур контактной площадки. Пример приведен на рисунке 7-10.

7.2 Операции, выполняемые после завершения поверхностного монтажа

7.2.1 Влагозащитные (конформные) покрытия Влагозащитные покрытия используются для защиты деталей от влаги и связанной с ней коррозии. Влагозащитные покрытия должны удовлетворять требованиям стандарта IPC-CC-830 и обязательно обозначаться на сборочном чертеже. В случае необходимости выполнения требований UL, следует применять покрытия, одобренные UL для использования производителями печатных плат.

Разработчик должен знать о возможной несовместимости покрытий с другими материалами. Влагозащитное покрытие – это электроизоляционный материал, который повторяет форму печатной платы и ее компонентов. Оно наносится для улучшения диэлектрических свойств поверхности и защиты от воздействия жестких окружающих условий. Влагозащитное покрытие не требуется для поверхностей или участков, не имеющих электрических проводников. См. IPC-2221, раздел 4.5.2.

Существует пять типов влагозащитных покрытий. Толщина влагозащитного покрытия зависит от его типа:

- AR – акриловые смолы, 0,03 – 0,13 мм
- ER – эпоксидные смолы, 0,03 – 0,13 мм
- UR – уретановые смолы, 0,03 – 0,13 мм
- SR – силиконовые смолы, 0,05 – 0,21 мм
- XY – параксиленовые смолы, 0,01 – 0,05 мм

По своему химическому составу все влагозащитные покрытия делятся на три категории. Это силиконовые эластомеры, парилен, и другие органические вещества.

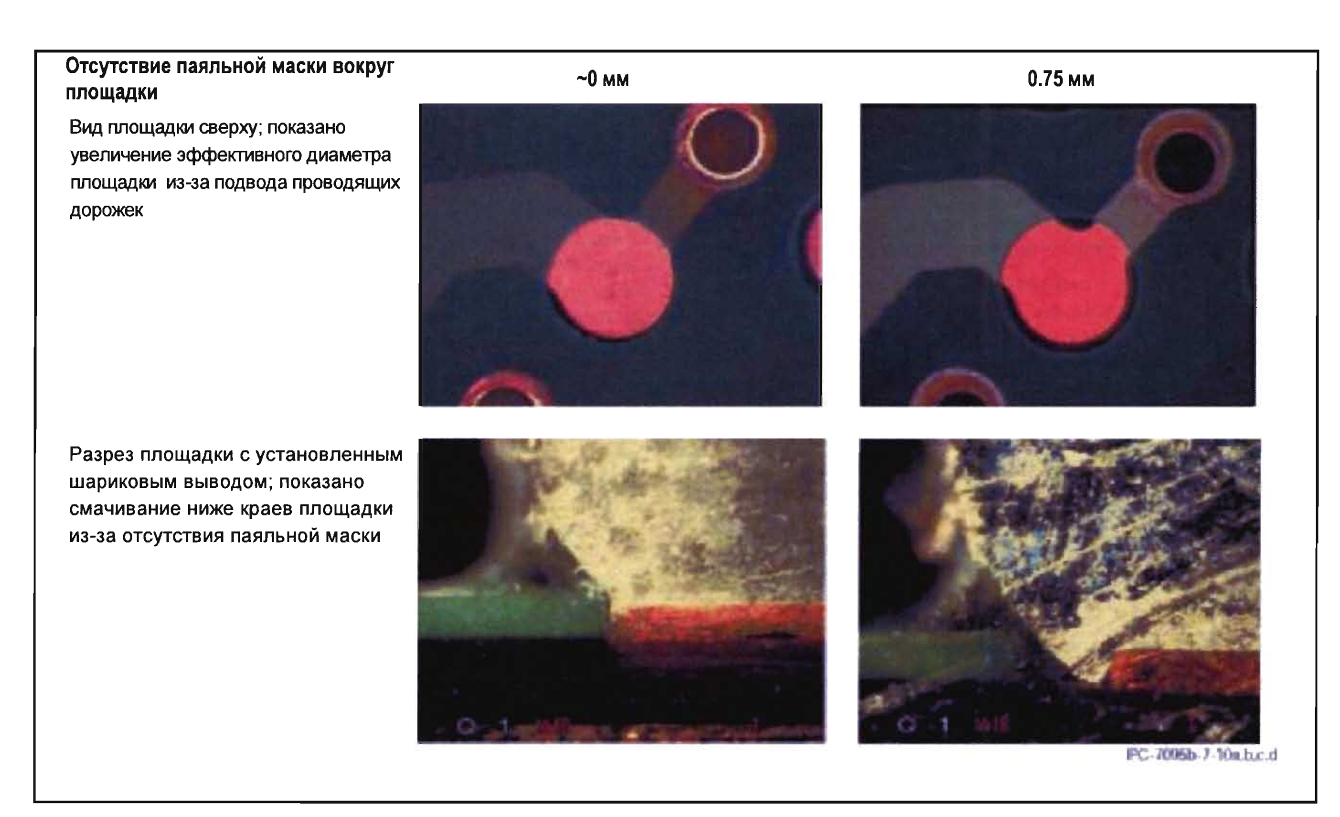


Рисунок 7-10 Эффект отсутствия паяльной маски вокруг контактных площадок BGA

Все три типа обеспечивают различные уровни защиты от воздействия растворителей, влажности, коррозии, электрического пробоя и других факторов окружающей среды, которые могут нарушить работу схемы.

Влагозащитные покрытия увеличенной толщины можно использовать для защиты от ударов и вибрации. Однако такое покрытие увеличивает риск механического повреждения стеклянных и керамических компонентов при резких перепадах температур. Совместно с таким покрытием может потребоваться использовать дополнительный буферный материал.

Необходимо принимать меры для предотвращения заполнения зазора между корпусами BGA и платой материалом покрытий. Испытания показали, что полное заполнение зазора материалом покрытий (кроме параксиленовых) приводит при термоциклировании к ранним отказам из-за усталостного разрушения паяных соединений, обусловленного термическим расширением вдоль "Z" .

Не следует путать влагозащитные покрытия с герметиками. Герметики используются в основном как часть корпуса для защиты кристаллов. Пластиковые герметики обеспечивают защиту пластиковых корпусов BGA от внешних воздействий. Однако возможные проблемы, связанные с несовместимостью герметиков и влагозащитных покрытий с другими материалами, очень похожи.

7.2.2 Применение заполнителей зазора и адгезивов Для дополнительного упрочнения крепления корпусов BGA к плате используются адгезивы. В последние годы в связи с внедрением бессвинцовых припоев и уменьшением шага выводов было создано много конструкций корпусов, отличающихся повышенной хрупкостью, в частности, пониженной стойкостью к ударам и изгибу. Размеры электронных устройств становятся все меньше и меньше. Существует тенденция использования малогабаритных устройств, в связи с чем возрастают требования по устойчивости к ударам и падению. Этими факторами обусловлено широкое распространение заполнителей зазоров и монтажных адгезивов при сборке электронных узлов.

Методика укрепления корпусов BGA полимерами быстро распространяется во многих направлениях электронного приборостроения. Первыми эти методы освоили производители мобильных телефонов, плееров MP3 и приборов PDA, фотокамер; они используются в медицинской электронике, авионике и в военных отраслях. Более поздними потребителями заполнителей зазоров и других эпоксидов стали рыночные сегменты материнских плат малогабаритных и портативных персональных компьютеров. Производители материнских плат настольных компьютеров и серверов пока воздерживаются от закрепления корпусов BGA полимерами. Однако, по мере возрастания хрупкости корпусов, проникновение данного подхода на эти рынки тоже вероятно.

Популярностью на рынке пользуются три способа крепления корпусов BGA к коммутационной плате при помощи полимеров. К ним относятся полное капиллярное заполнение зазоров между корпусом и платой, частичное капиллярное заполнение зазоров и нанесение адгезива по углам корпуса. Разрабатываются новые технологии заливки зазоров, но внедрение этих решений в массовое производство еще не произошло. В некоторых исследованиях показано, что для представительной выборки образцов наблюдается улучшение механических характеристик стойкости корпусов к ударам и изгибу на 100 - 200% по сравнению с корпусами, не имеющими полимерного крепления. Укрепление BGA полимерами лучше многих других испытанных решений (контактные площадки увеличенного размера, ограниченные металлом площадки, площадки различной формы и т. д.).

В настоящее время отсутствуют рекомендации в отношении того, для каких типов корпусов BGA требуется заполнение зазора или крепление при помощи адгезивов. Собственник конструкции изделия должен самостоятельно определить необходимость дополнительной механической защиты корпусов BGA для удовлетворения рыночных требований по надежности (например, стойкость к удару, изгибу, вибрации, падению, термоциклированию и т. д.). Предполагается, что применение методики крепления полимерами может дать положительный эффект только в результате экспериментального подбора нужного материала для каждого конкретного случая.

При использовании методов заполнения необходимо учитывать, что выбор химического состава полимера должен определяться механическими свойствами в твердом состоянии, соответствующими условиям эксплуатации. Заполнители, в общем случае, обеспечивают повышение механической стойкости корпусов (к удару, изгибу, вибрации и падению), но в тоже время могут ухудшить устойчивость к термоциклированию, если химический состав был выбран неправильно.

7.2.2.1 Полное и частичное заполнение зазора Полное заполнение зазора обычно осуществляется путем нанесения неотвержденного жидкого полимера на плату по краям корпуса BGA за счет капиллярного течения в зазоре между корпусом и платой. Разработка процесса дозирования должна выполняться тщательно для предотвращения захвата пузырьков воздуха (пустот) вовнутрь сборки BGA. Вариант схемы дозирования, имеющий форму "I" и осуществляемый вдоль одной из сторон корпуса, обеспечивает гораздо меньшее количество захваченных пузырьков, чем варианты схемы "L" или "U", обеспечивающие более быстрое течение (с двух или трех сторон, соответственно).

Дозирование заполнителя вокруг компонентов на плате может выполняться с использованием автоматического оборудования (струйный, шнековый дозатор или другие) либо вручную (пневматическое дозирование при помощи шприца и иглы). Для увеличения скорости течения заполнителя и производительности производственной линии часто применяют предварительный нагрев собираемых плат до 50°-110°С. Поставщикам заполнителей известно, что интенсивность течения определяет производительность процесса. Заполнители последнего поколения имеют составы, обеспечивающие пониженную вязкость и улучшенные характеристики смачивания, что значительно повышает скорость течения. Кроме того, находят применение заполнители новейшего поколения, которые обладают хорошей растекаемостью без предварительного нагрева печатных плат.

Время капиллярного течения заполнителя при нанесении с использованием схемы "I" приближенно описывается следующим уравнением (см. рисунок 7-11):

$T = (3\mu L2)/(h\gamma \cos \Theta)$, где

T = время протекания заполнителя от одного края корпуса до другого в секундах

μ = вязкость заполнителя

L = расстояние течения заполнителя

h = зазор между параллельными поверхностями

Θ = угол смачивания поверхности жидкостью

γ = поверхностное натяжение заполнителя.

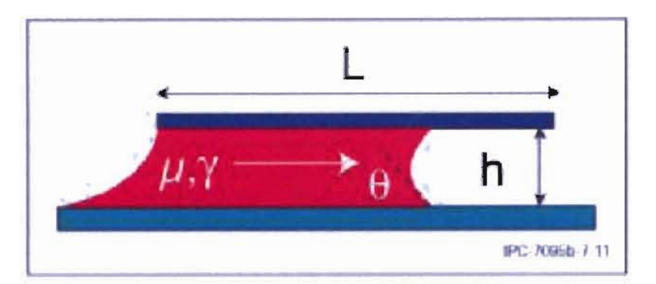


Рисунок 7-11 Течение заполнителя между двумя параллельными поверхностями

Пустоты в заполнителе представляют собой обычное явление, особенно в местах соединения шариковых выводов с платой и подложкой корпуса. Общепринятым является мнение, что небольшие пустоты в объеме заполнителя не оказывают значительного влияния на стойкость к удару, изгибу или термоциклированию. Промышленного стандарта на допустимое содержание пустот в заполнителе не существует. Однако, большинство пользователей заполнителей считает, что пустоты, соприкасающиеся с припоем, опасны. (Было показано, что имеет место ползучесть припоя сквозь пустоты при термоциклировании, что приводит к замыканию прилегающих шариковых выводов). Для обозначения пустот среднего размера (т.е. превышающих по размеру половину диаметра шарикового вывода) в промышленности принят термин "серая зона". Считается, что эти пустоты не оказывают заметного неблагоприятного влияния, но некоторые пользователи заполнителей предпочитают исключить их появление в своих технологических процессах. На рисунке 7-12 показаны примеры небольших пустот в виде ореола, пустот среднего размера и крупных пустот соответственно.

Для максимальной эффективности заполнения зазора желательна достаточная высота галтели. Для большинства случаев считается приемлемым наличие галтели с протяженностью от 25% до 100% расстояния до плоскости корпуса вблизи его середины.

По периферии BGA, подвергаемого заполнению зазора, необходимо оставить предохранительные зоны для других устройств и открытых сквозных переходов. Общим правилом для размеров отступов является резервирование пространства, равного 1.5X расстояния от подложки BGA до поверхности платы по сторонам корпуса, где не осуществляется дозирование, и 6.0 мм со стороны корпуса BGA, вдоль которой осуществляется дозирование.

Отверждение заполнителей зазоров между корпусами компонентов и платой выполняется в печах. Подходящим методом отверждения является одиночный проход плат через стандартную печь для поверхностного монтажа при температуре ниже температуры оплавления. Состав многих заполнителей твердеет в течение 5-20 минут при 120-165°C что говорит в пользу такого способа. Можно использовать и печи периодического действия. Поставщики заполнителей разрабатывают новые составы, твердеющие при более низкой температуре за меньшее время.

Исторически сложилось так, что в условиях массового производства заполнители практически не были ремонтопригодными. Это было приемлемо для устройств типа сотовых телефонов первого поколения, когда стоимость каждой платы была относительно низкой и утилизация нескольких плат не облагалась крупным штрафом. Однако, заполнители все в большей степени проникают на рынки дорогостоящей продукции. В результате производители заполнителей стали разрабатывать химические составы, обеспечивающиен ремонтопригодность.

Частичное или угловое заполнение осуществляется точечным дозированием или по схеме, имеющей вид "L" вблизи углов корпуса BGA. Заполнитель течет дугообразно и охватывает несколько контактных шариков в глубине каждого из углов (см. рисунок 7-13).

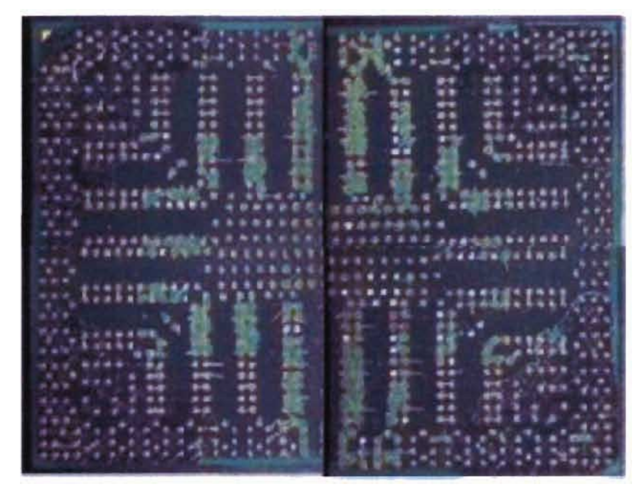


Рисунок 7-13 Пример частичного заполнения - в углах демонтированного с платы корпуса видны следы заполнителя

Преимуществом этого метода перед полным заполнением является намного меньший расход материала заполнителя, а также значительное сокращение времени растекания, что позволяет повысить производительность на этапе дозирования. Разумеется, частичное или угловое заполнение уступает по прочности полному заполнению зазора под корпусом; однако, во многих случаях достигаемого при частичном заполнении повышения стойкости более чем достаточно для

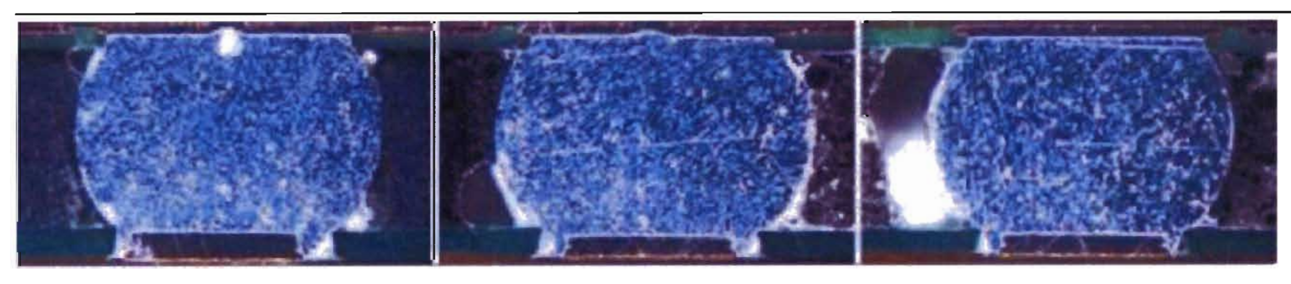


Рисунок 7-12 Пустоты в заполнителе - малые, средние и крупные; на иллюстрациях соответственно вверху слева, внизу слева и слева от шарикового вывода

удовлетворения рыночных требований к защищаемым корпусам /платам. (Экспериментальная проверка показала полуторакратное возрастание стойкости к удару корпуса BGA с частичным заполнением под углами по сравнению с аналогичным корпусом BGA без заполнения. Это очень заметное преимущество).

Некоторые производители материнских плат для мобильных ПК используют частичное заполнение для повышения стойкости BGA на платах.

7.2.2.2 Нанесение адгезива по углам корпуса Нанесение адгезива по углам (иногда называемое угловой приклейкой, угловой связкой или угловой прихваткой) представляет собой метод, когда клей наносится только на углы и/или внешние кромки корпуса BGA. Замысел состоит в том, что стойкость корпуса повышается за счет укрепления области корпуса, подвергаемой наибольшим напряжениям и шариковых выводов, находящихся на максимальном удалении от центра. При нанесении адгезива на углы не достигается столь же значительного возрастание стойкости корпусов, как в обычном методе полного капиллярного заполнения зазоров, но часто достигаемые преимущества значительны и достаточны для удовлетворения рыночных требований. Метод приклейки углов широко распространен в отраслях, где предъявляются высокие механические требования к стойкости (удар, вибрация и изгиб) к крупногабаритным корпусам BGA (от 20 x 20 мм 45 x 45 мм). Эти требования характерны для рынка материнских плат мобильных ПК.

Фотография корпуса BGA, смонтированного с приклеиванием по углам, показана на рисунке 7-14.

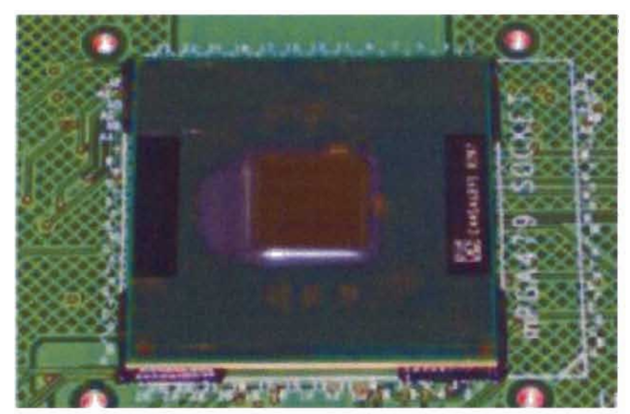


Рисунок 7-14 Нанесение адгезива по углам корпуса

Клей может наноситься непосредственно на печатную плату до установки корпуса BGA или на собранный корпус BGA после пайки оплавлением. Для нанесение клея по углам до оплавления необходимо, чтобы на корпусе BGA имелось достаточное пространство за пределами последних шариковых выводов во внешних рядах (см. рисунок 7-15).

Минимальная ширина свободного пространства для нанесения клея по углам должна быть около 0.7 мм. Для корпусов, имеющих свободное пространство меньше указанного, этот процесс не поддается управлению скоростными средствами автоматизации. В настоящее время существует тенденция к уменьшению размеров подложек корпусов, вследствие чего ожидается сокращение применения метода нанесения клея по углам до пайки оплавлением.

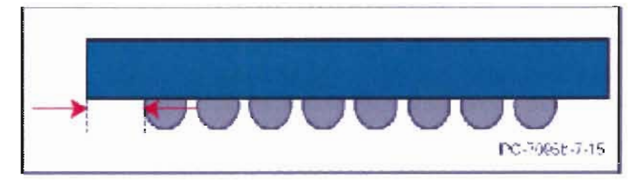


Рисунок 7-15 Критический размер для нанесения клея по углам корпуса до пайки оплавлением

Эффективность метода нанесения клея после сборки и оплавления зависит от выбранного типа клея и общей поверхности контакта под каждым из углов. Объемы дозирования варьируются от одной капли клея на каждый угол до нанесения подкосов клея, имеющих форму буквы "L" с протяженностью до шести шариковых выводов вдоль каждой из сторон угла. Исследования показали, что удлиненные "L" - образные подкосы клея могут значительно повысить механическую надежность (например, в одной из работ указывается на повышение стойкости к удару, выразившееся в увеличении ускорения однократного воздействия до появления механического повреждения со 180 G до 300 G).

Стартовой точкой при расчете количества наносимого клея может быть длина каждой из сторон "L"-образного подкоса, заканчивающаяся между 3-м и 6-м шариковым выводом. Одной из ошибок нанесения клея по углам является использование слишком малого объема для покрытия поверхности. Испытания показали, что одной капли клея, покрывающей не более ширины одного шарикового вывода с нижней стороны подложки, недостаточно для значительного повышения стойкости BGA к удару или изгибу. Это связано с тем, что прочность связи паяльной маски с нижележащим слоем FR-4 или прочность типичной подложки BGA недостаточны, и эти конструкции легко разрушаются при недостаточном количестве клея по углам (см. рисунок 7-16).

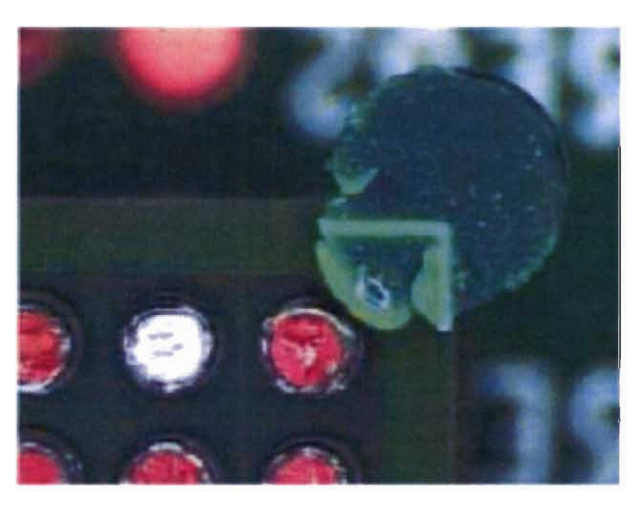


Рисунок 7-16 Типичный вид отказа в испытаниях на удар при недостаточной площади нанесения клея - паяльная маска отрывается от платы и не защищает паяные соединения

Другая рекомендация заключается в том, что клей должен смачивать в среднем не менее 50% вертикальной стороны подложки по всей длине линии дозирования, и эпоксидный

материал должен немного затечь под корпус BGA, даже если при этом он достигнет некоторых из шариковых выводов.

Типичное оборудование для дозирования клея при нанесении по углам после оплавления состоит из источника сжатого воздуха и шприца с иглой. Это оборудование стоит недорого, что способствует его использованию в производственных условиях, где ставки заработной платы существенно ниже по сравнению с капитальными вложениями.

Клеи для нанесения по углам изготавливают на основе эпоксидных смол, применяемых для заполнителей зазоров. Типичный цикл отверждения составляет 5-60 минут при 60-180°C. Кроме того, в настоящее время вводятся в употребление разновидности этих материалов, твердеющие под воздействием ультрафиолетового излучения.

7.2.3 Разделение групповых заготовок плат и модулей Разделение групповых заготовок может выполняться и использованием различных методов. К ним относятся скрайбирование, сочетание скрайбирования и фрезерования, а также сочетание фрезерования с вырубкой перемычек. См. стандарт IPC-2222.

Скрайбирование – это прорезание V-образных канавок небольшой глубины на верхней и нижней поверхностях ламината. Поскольку при разделении заготовок по линиям скрайбирования отделяются отдельные платы и горизонтальные массивы плат, необходимо обеспечить высокую точность позиционирования канавок. Окончательный контур сборки обрабатывается фрезерованием. Пазы обрабатываются при помощи фасонных фрез различного диаметра с сохранением перемычек для удержания платы на месте во время сборки.

При разделении плат по перемычкам, образованным отверстиями и перфорацией, необходимо соблюдать чрезвычайную осторожность. Избегайте изгиба платы, особенно рядом с компонентами BGA. Изгиб может стать причиной трещин в паяных соединениях BGA, обычно начиная с угловых шариков. Для удаления перемычек следует изготовить собственные инструменты или приобрести специальное оборудование для этой цели. Это оборудование должно уменьшать или полностью устранять механические напряжения рядом с компонентами BGA во время разделения заготовок.

7.3 Технологии контроля Следующие разделы посвящены технологиям контроля, которые применяются на различных этапах разработки процессов сборки электронных систем с использованием компонентов BGA и для контроля их качества в ходе производства. В таблице 7-4 приведены некоторые рекомендации по применению методов контроля.

7.3.1 Использование рентгеновского излучения Контроль при помощи рентгеновского излучения обычно проводится в случае большого количества «скрытых» паяных соединений, которые нельзя проконтролировать визуально, а также когда значительное число паяных соединений нельзя проверить иным способом. Примерами таких паяных соединений являются избыточные соединения и соединения в BGA-компонентах, расположенных друг под другом, в которых отсутствует доступ к переходным отверстиям, а недостаток свободного пространства не позволяет устанавливать дополнительные контрольные точки. Рентгеновский контроль может использоваться в дополнение к уже существующим процессам контроля, обеспечивая ускоренную обратную связь с производственной линией. В зависимости от возможностей используемой рентгеновской системы, она позволяет обнаруживать такие дефекты, как образование перемычек, отсутствие пайки, недостаток и избыток припоя. Другие дефекты, такие как пропущенные шариковые выводы, неточное совмещение, а также «вспучивание» корпуса, также могут быть идентифицированы. В дополнение к обнаружению дефектов, рентгеновский контроль может использоваться для анализа трендов изменений объема припоя и формы паяных соединений. Рентгеновский контроль является единственным неразрушающим методом поиска пустот в контактах BGA.

На рисунке 7-17 показана схема, изображающая принцип работы оборудования рентгеновского контроля с расположением трубки над образцом; в некоторых случаях трубка располагается под образцом или под углом к нему. Элементы, изображенные на рисунке, имеются в большинстве рентгеновских систем. Рентгеновский контроль стал общепринятым инструментом оценки и анализа паяных соединений, а также средством мониторинга процесса пайки оплавлением. Для эффективного применения рентгеновского контроля необходимо понять принцип получения рентгеновского изображения.

Рентгеновские установки эффективно применяются для исследования целостности паяных соединений BGA, а также в качестве инструмента контроля процесса пайки оплавлением. Для успешного применения рентгеновского контроля необходимо понять следующие принципы:

Таблица 7-4 Рекомендации по применению контрольно-измерительных методов

Метод	Разработка технологического процесса	Поточное производство	Анализ дефектов	Контроль качества процесса	НИОКР и мелкосерийное производство
Визуальная проверка	Превосходно	Хорошо	Превосходно	Хорошо	Хорошо
Ручной рентгеновский контроль	Превосходно	Хорошо	Превосходно	Хорошо	Превосходно
Автоматический рентгеновский контроль (просвечивание)	Превосходно	Превосходно	Хорошо	Хорошо	Хорошо
Автоматический рентгеновский контроль (контроль сечений)	Превосходно	Превосходно	Превосходно	Хорошо	Хорошо
Сканирующая акустическая микроскопия	Превосходно	Удовлетворительно	Хорошо	Хорошо	Удовлетворительно
Измерение зазора	Удовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Хорошо	Удовлетворительно
Автоматический оптический контроль	Объем паяльной пасты	Идентификация компонентов, объем паяльной пасты	Не применяется	Идентификация компонентов, объем паяльной пасты	Идентификация компонентов, объем паяльной пасты
Разрушающий контроль	Хорошо	Плохо	Превосходно	Удовлетворительно	Удовлетворительно

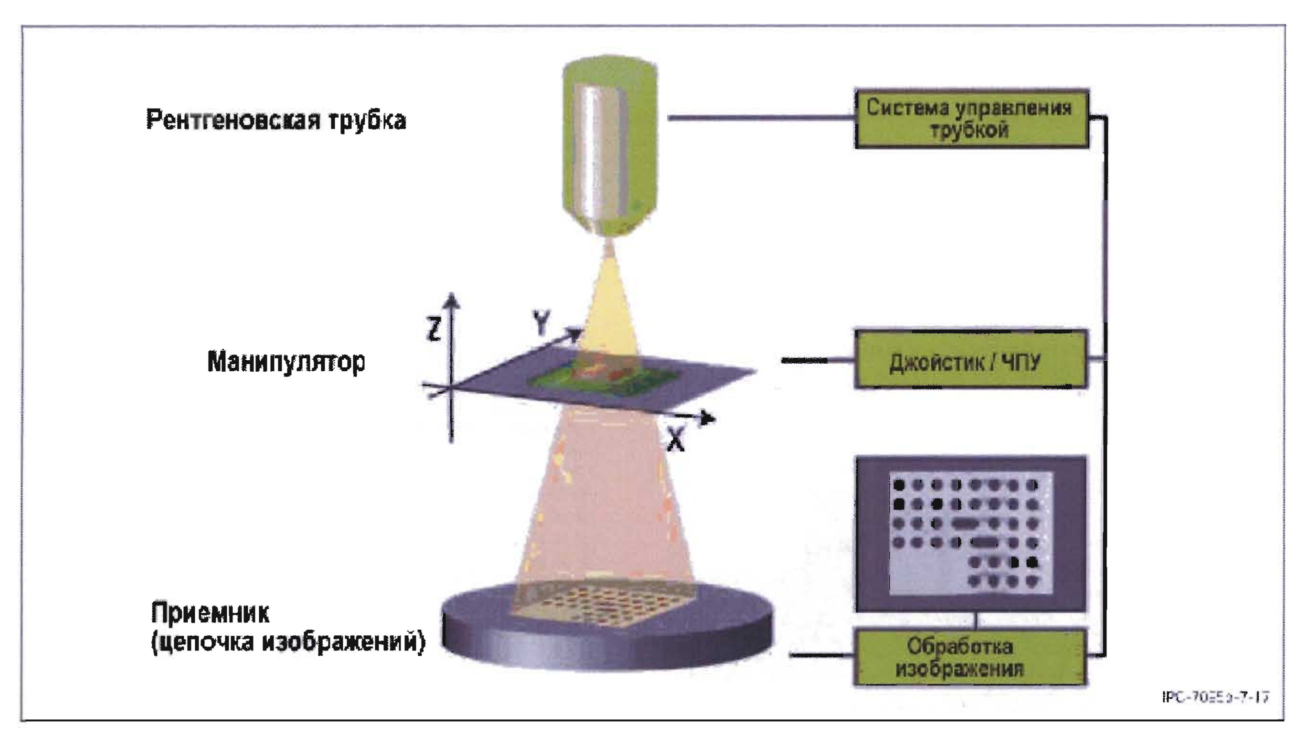


Рисунок 7-17 Принцип технологии контроля рентгеновским методом

- принцип получения рентгеновского изображения
- принцип анализа рентгеновского изображения (процесса пайки оплавлением)

При использовании рентгеновского излучения необходимо соблюдать осторожность, чтобы не передержать чувствительные материалы и компоненты.

На рисунках 7-18 и 7-19 показаны рентгеновские изображения пропущенных шариковых выводов компонента BGA и пустот в плоскости контакта.

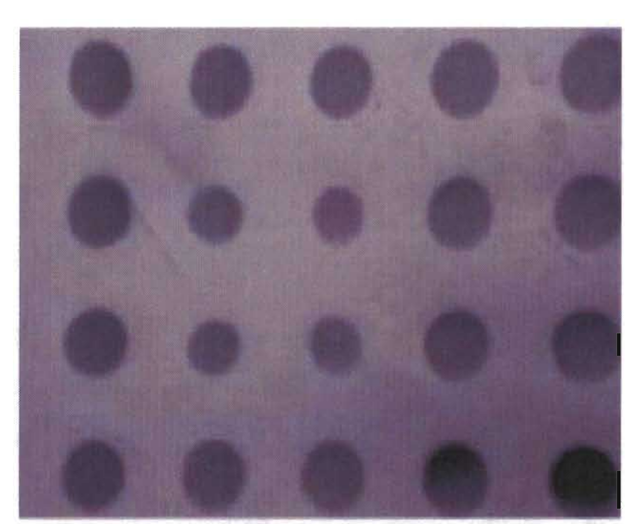


Рисунок 7-18 Пример рентгеновского снимка пропущенных шариковых выводов

7.3.2 Получение рентгеновского изображения

Получение рентгеновских снимков на пленке - в пленочных системах рентгеновского контроля используется промышленный рентгеновский аппарат и пленочные носители для записи рентгеновского снимка. Затем пленка

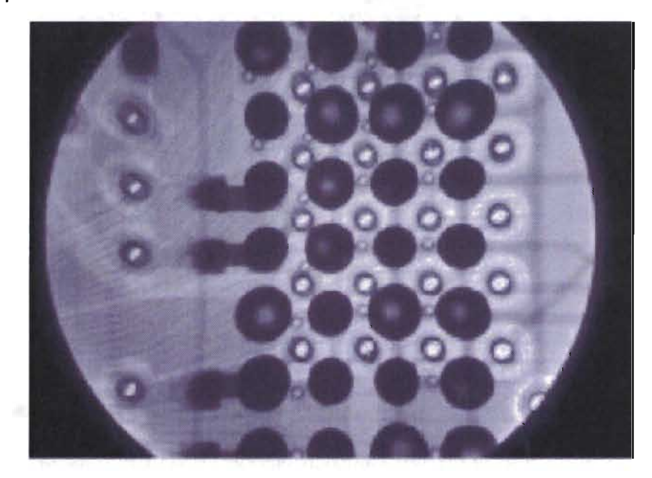


Рисунок 7-19 Пример рентгеновского снимка пустот в шариковых выводах

просматривается на видеопроекторе с высоким разрешением для анализа деталей изображения. Этот процесс характеризуется малой скоростью, но позволяет получать рентгеновские снимки с высоким разрешением и точностью передачи оттенков.

Получение рентгеновских изображений в реальном времени - в рентгеновских системах реального времени используется источник рентгеновского излучения и детекторная система, которая преобразует невидимый рентгеновский снимок в сигнал для видеомонитора. Эти системы обеспечивают немедленное отображение результатов съемки. Изображения, полученные при помощи таких систем, не должны содержать искажения и дефекты, вносимые самой рентгеновской системой. На рисунке 7-20 показан примерный уровень качества изображения, которого можно ожидать от рентгеновской системы с ручным управлением. На рисунке 7-21 показаны примеры подушкообразного искажения и ореолы

из-за повышенного ускоряющего напряжения в трубке. Выпускается множество рентгеновских систем реального времени, от небольших настольных до больших напольных моделей. Они оснащаются рентгеновскими трубками с широким диапазоном напряжений. Для проверки качества BGA не требуется какого-то особого напряжения. Требуемое напряжение отчасти зависит от чувствительности конкретной рентгеновской системы, а также структуры и характеристик проверяемого компонента. Корпуса BGA с медными радиаторами, например, требуют большего напряжения, чем PBGA или CBGA. С другой стороны, компоненты BGA с алюминиевыми радиаторами не требуют повышенного напряжения, поскольку алюминий менее плотный материал и поэтому более прозрачен для рентгеновского излучения, чем медь.

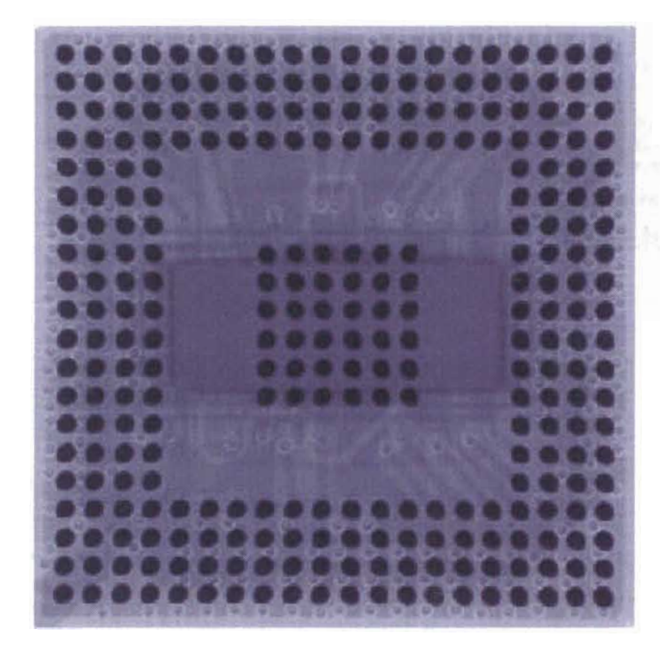


Рисунок 7-20 Качество изображения рентгеновской системы с ручным управлением

7.3.3 Определение рентгеновских систем и терминология
Существуют как системы рентгеновского контроля с ручным управлением (MXI), так и автоматические (AXI). Системы MXI обладают разной степенью автоматизации, включая автоматический анализ BGA, автоматические функции обработки изображений, проведение автоматических манипуляций и подачи плат. Просвечивающие рентгеновские системы могут оснащаться функцией просвечивания под углом с высоким разрешением (см. раздел 7.3.3.2).

Основным отличием автоматических систем AXI от систем с ручным управлением MXI является то, что системы AXI пригодны для работы в линии и не требуют решения оператора о пропуске или отклонении плат. Оборудование MXI практически исключительно выполняется по технологии просвечивания контролируемого объекта, тогда как системы AXI могут осуществлять просвечивание, послойное сканирование и комбинацию этих функций.

Оборудование AXI выпускается в трех модификациях:

• Просвечивающие AXI или двумерные (2D) рентгеновские системы

• Послойные AXI для контроля сечения или трехмерные (3D) рентгеновские системы;

• Комбинированные 2D/3D AXI

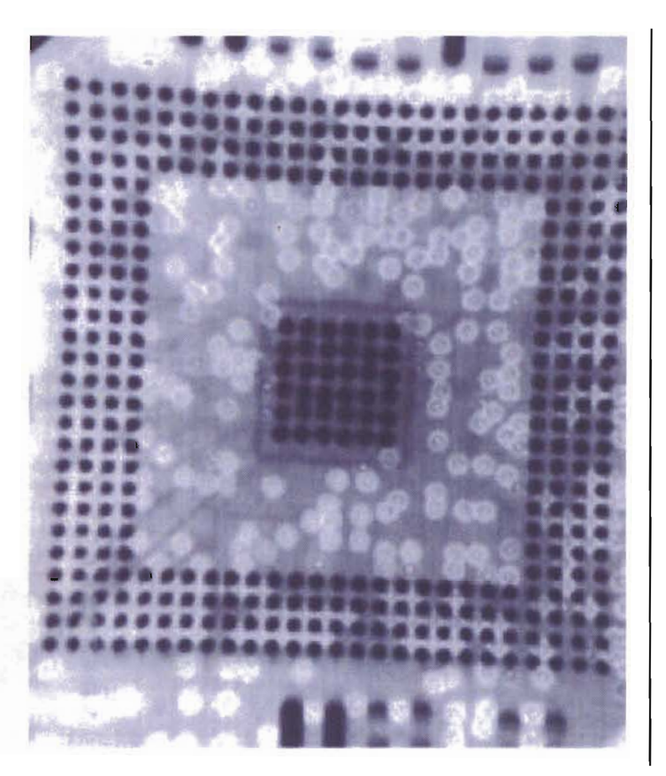


Рисунок 7-21 Пример рентгеновского изображения с искажениями типа "подушка" и ореолами из-за повышенного напряжения

Далее приведены определения просвечивающего, поперечного и комбинированного рентгенографического исследования:

В просвечивающем рентгеновском излучении автоматически создается изображение всех элементов образца, находящихся между источником рентгеновского излучения и приемником. На рисунках с 7-22 по 7-24 приведены примеры изображения, полученного просвечиванием, томографической реконструкции и ламинографического изображения.

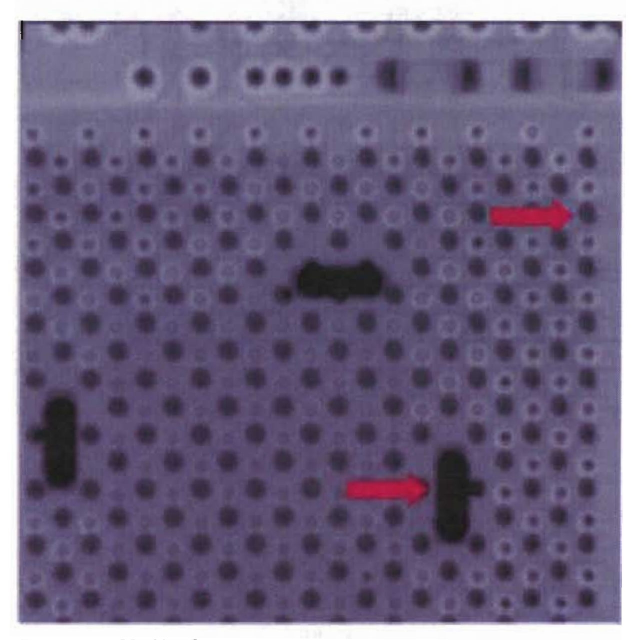


Рисунок 7-22 Изображение, полученное просвечиванием (плоское)

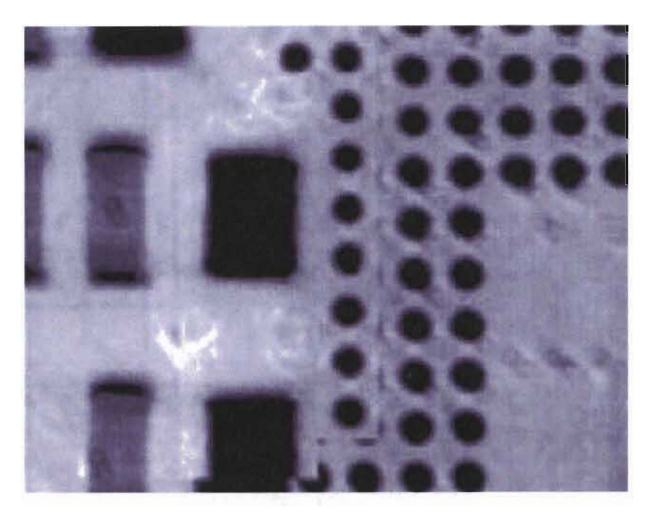


Рисунок 7-23 Томографическая реконструкция (объемное изображение)

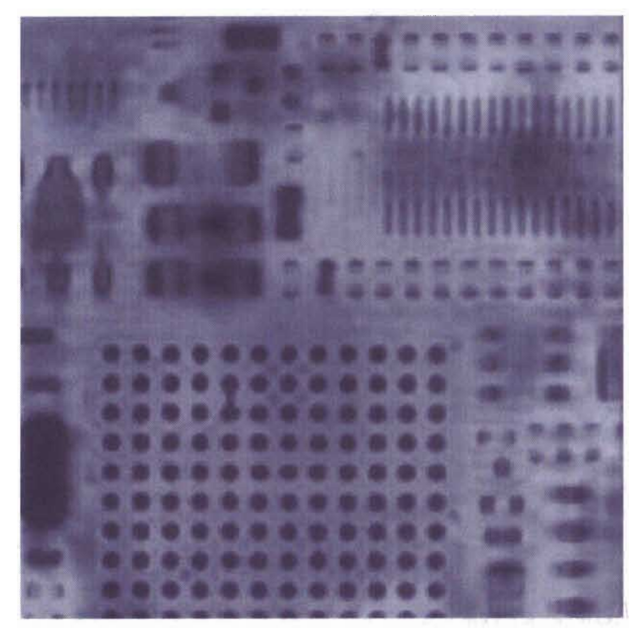


Рисунок 7-24 Ламинографическое сечение (объемное)

Послойные AXI автоматически генерируют изображения одного среза платы в единицу времени. Результатом работы таких систем обычно являются ламинография и томографическая реконструкция исследуемого объекта. В комбинированном оборудовании AXI для контроля ПП используется сочетание просвечивающей и послойной технологий. В комбинированных системах каждая из технологий может автоматически применяться в необходимых случаях, а также пользователь может выбрать одну из них. На платах с двусторонним расположением компонентов (тип 2) некоторые паяные соединения будут недоступны для стандартной просвечивающей рентгеновской установки из-за перекрытия их другими соединениями; в этом случае следует использовать функцию просвечивания под углом.

С другой стороны, послойная технология обеспечивает улучшенный доступ к деталям платы, если просвечивание под углом не используется. Поскольку при помощи просвечивающего контроля информация собирается со всего объема паяных соединений, а послойная технология дает информацию о «срезе», эти технологии обладают как уникальными, так и общими свойствами, необходимыми для обнаружения некоторых дефектов пайки. Все три (просвечивающие, послойные и комбинированные) рентгеновские технологии способны обнаруживать дефекты сборки ПП, которые вызывают изменение внешнего вида паяного соединения. Такие дефекты включают, но не ограничиваются: перемычки, отсутствие соединения, недостаток припоя, отсутствие и смещение компонентов, а также пустоты в припое.

7.3.3.1 Рентгеновский контроль просвечиванием В просвечивающих рентгеновских установках источник и приемник могут быть как фиксированными, так и подвижными для изменения разрешения и угла обзора. Обычно все элементы на вертикальной «оси обзора» видны одновременно без разделения по глубине.

Различия в толщине и плотности материала могут привести к затуханию рентгеновского излучения, что отразится на приемнике в виде ярких и темных областей изображения. Для однородного материала, такого как эвтектические припои, затухание рентгеновского излучения, поступающего в приемник, пропорционально толщине материала. В результате создается изображение в градациях серого, которое можно обработать для определения качества паяных контактов. На рисунке 7-25 показан пример исследования платы просвечиванием.

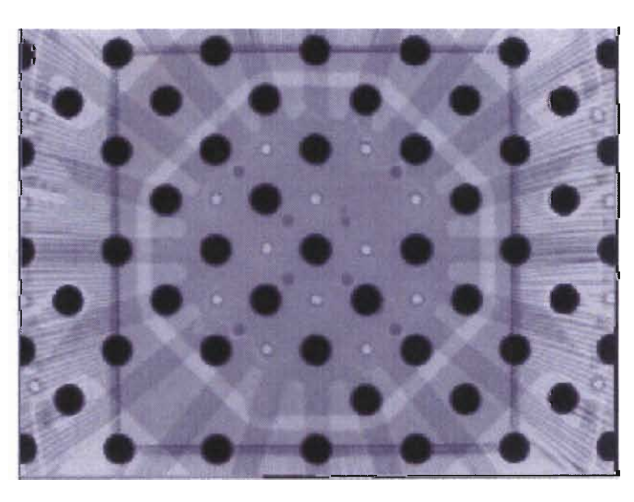


Рисунок 7-25 Пример контроля просвечиванием

7.3.3.2 Контроль просвечиванием под углом Существует два основных метода просмотра объектов под углом при помощи просвечивающих рентгеновских систем. Первый метод заключается в повороте образца на некоторый угол, как показано на рисунке 7-26. Хотя этот метод позволяет обеспечить изображение под углом, технология не позволяет получить максимальный уровень увеличения.

В другом методе используется широкоугольный источник рентгеновского излучения, как показано на рисунке 7-27. В данном методе приемник поворачивается относительно оси рентгеновской трубки, используя краевой участок конуса

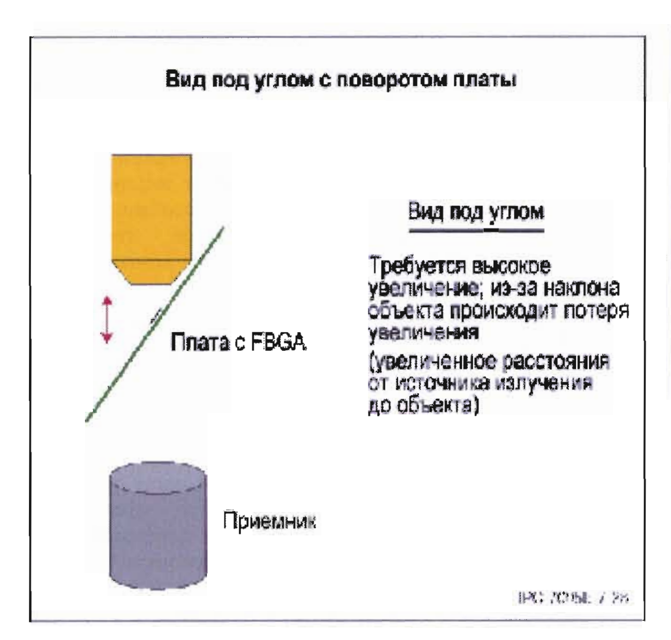


Рисунок 7-26 Наклон платы для просмотра под углом

излучения для получения изображения под углом с максимально достижимым увеличением.

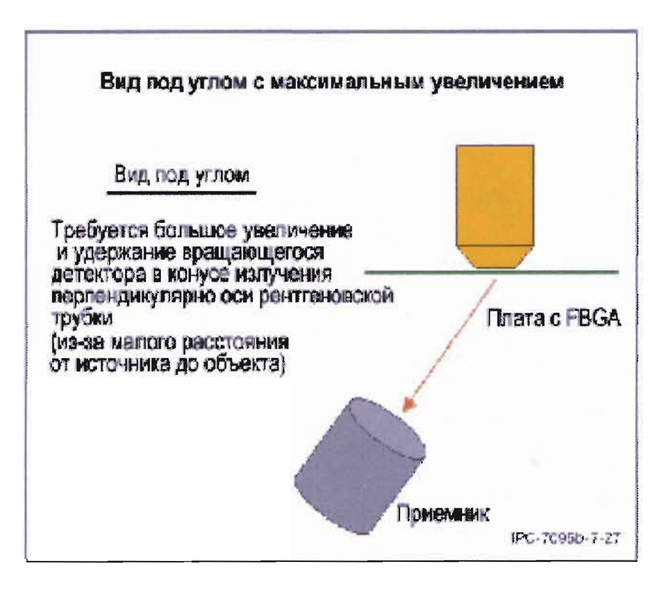


Рисунок 7-27 Наклон приемника для просмотра под углом

На рисунках 7-28 и 7-29 иллюстрируется преимущество просмотра платы под углом в сравнении с обычным просвечиванием на примере реального изображения выводов компонента FBGA.

Для не содержащих свинец компонентов изображения на рисунке 7-29 будут несколько отличаться по структуре и плотности. Во избежание переэкспонирования может потребоваться снижение интенсивности и/или мощности трубки.

7.3.3.3 Послойные рентгеновские технологии На двусторонних платах некоторое количество паяных соединений будет недоступно для рентгеновского контроля просвечиванием из-за наложения изображений, тогда как с помощью послойной технологии можно проанализировать большее количество компонентов.

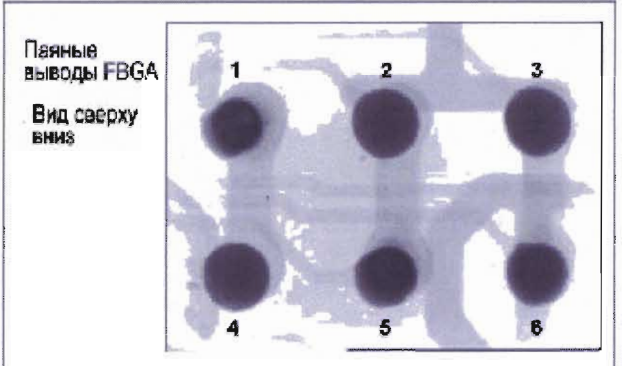


Рисунок 7-28 Изображение паяных выводов FBGA при просвечивании сверху вниз

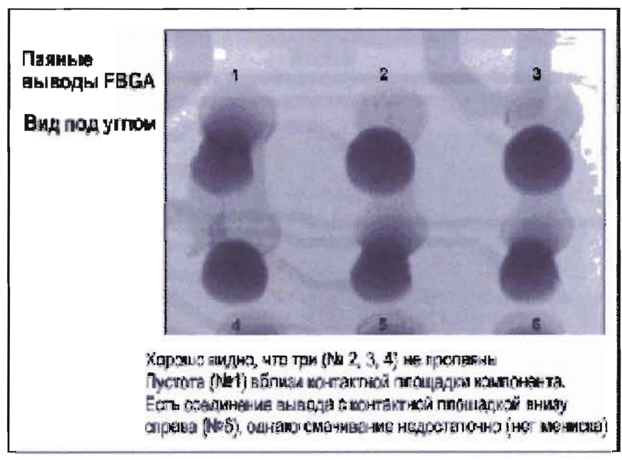


Рисунок 7-29 Изображение паяных выводов FBGA при просвечивании под углом

Поскольку при помощи технологии просвечивания информация собирается со всего объема платы, а послойная технология дает информацию об отдельном срезе, они обладают как уникальными, так и общими свойствами, необходимыми для обнаружения некоторых дефектов пайки. За более подробной информацией обратитесь к изготовителю системы AXI, который может предоставить параметры своих технологий и систем.

Как томографическая реконструкция, рисунок 7-30, так и ламинография, рисунок 7-31, являются радиографическими технологиями, которые позволяют увидеть срез исследуемого устройства. В ламинографии рентгеновский источник и плоскость рентгеновского изображения перемещаются в координатной системе относительно исследуемого электронного устройства. Появляется чистое изображение только одного слоя или «среза» устройства; остальные слои стираются с плоскости изображения. При помощи томографической реконструкции проводится сбор нескольких рентгеновских изображений под различными углами, а затем при помощи математических методов выполняется комбинирование изображений в цифровом виде.

Это позволяет создать виртуальные срезы в необходимой плоскости для анализа.

7.3.4 Анализ рентгеновского изображения Для интерпретации и анализа рентгеновского изображения паяных соединений шариковых выводов необходимо понимание конструкции конкретного устройства BGA и процесса пайки.

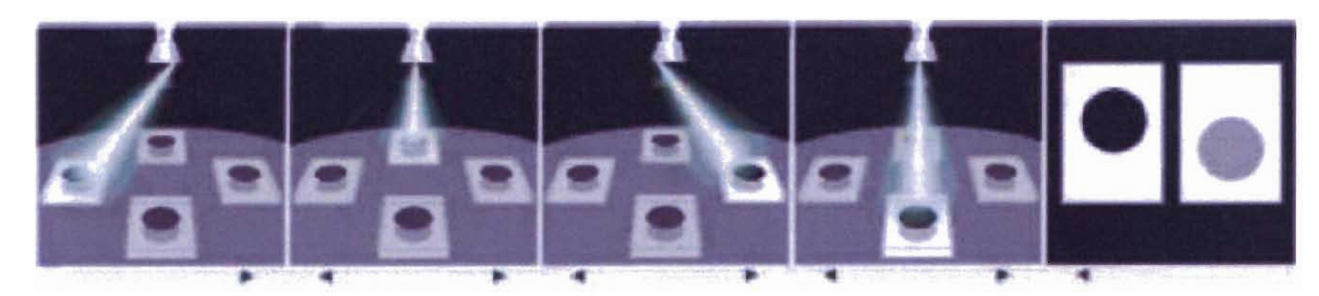


Рисунок 7-30 Томографическая реконструкция

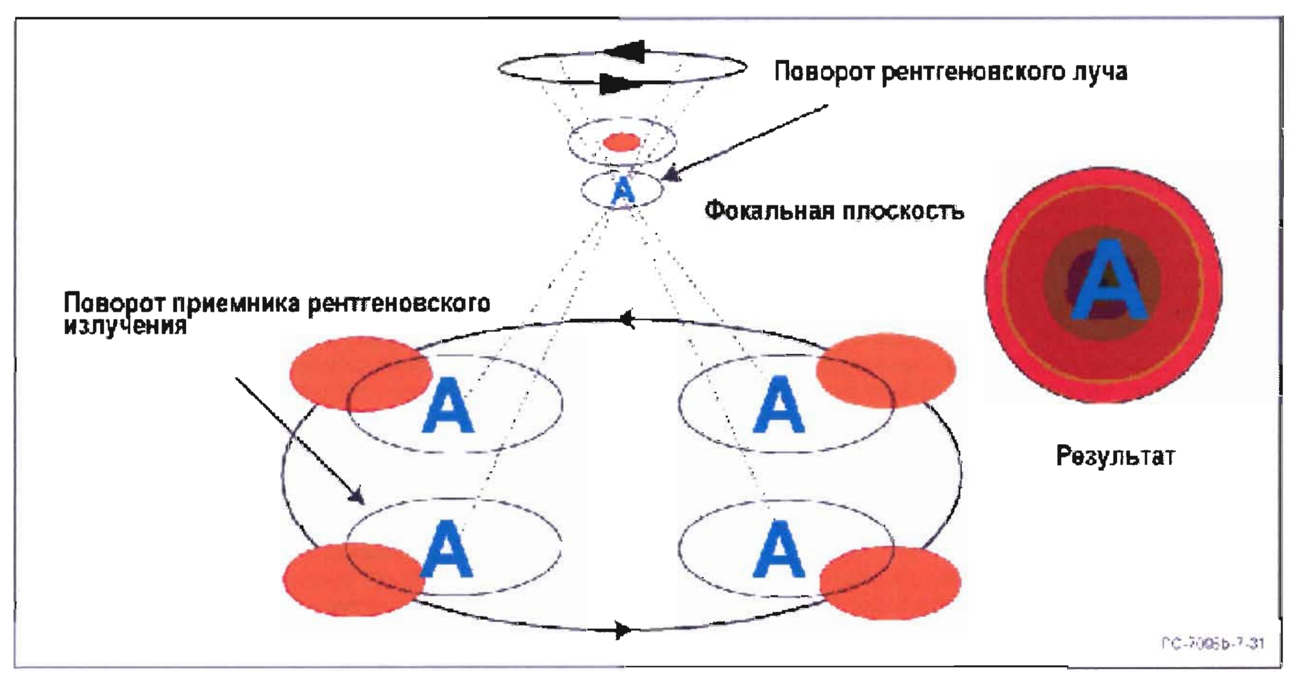


Рисунок 7-31 Сканирующая рентгеновская ламинография

При анализе изображения должны учитываться следующие факторы:

• Конструкция шариковых выводов: осаживающиеся (эвтектические) или неосаживающиеся (тугоплавкие).

• Установлены ли неосаживающиеся шарики в углах корпуса для поддержания компланарности.

• Была ли температура достаточной для полного совмещения и осаждения шариков.

• Нет ли видимых физических деформаций корпуса BGA, появившихся во время пайки.

Эти факторы дают дополнительную информацию для интерпретации и анализа рентгеновского изображения.

7.3.4.1 Поле обзора При определении критериев исследования необходимо определить, какая часть корпуса компонента BGA должна находиться на мониторе в каждый момент времени. С уменьшением шага выводов компонента BGA размер шарика также уменьшается. Для контроля можно использовать несколько уровней увеличения. В таблице 7-5 приведены различные значения шага и размера шариковых выводов и соответствующие им поля обзора. Диапазон увеличения может изменяться, однако всегда должен находиться между 30X и 50X. Поле обзора можно просто определить путем деления числа 15 на размер шарикового вывода. Таким образом, если размер шарика составляет 0,75 мм, то поле обзора будет составлять (15/0,75) 20 шариков, которые будут находиться на экране одновременно. С уменьшением размера шарика на экране отображается большее их количество.

Поле зрения в рентгеновской системе реального времени зависит от разрешающей способности приемника рентгеновского излучения и масштаба отображения на экране оператора. В выпускаемых серийно рентгеновских системах разрешающая способность находится в пределах от 640 x 480 до 1600 x 1200 пикселей и более. Одним из критериев качества, используемых в данном документе, является образование пустот, и если при контроле шариковых выводов не определиться с минимальным количеством пикселей, приходящихся на диаметр шарика, то точность последующих замеров будет весьма сомнительной. Например, предположим, что матрица 4 x 4 с диаметром шариков 0.75 мм (шаг 1.5 мм) и матрица 7 x 7 с диаметром шариков 0.30 мм (шаг 0.5 мм) полностью отображаются на экране (см. следующую таблицу). Тогда в рентгеновской системе с разрешающей способностью приемника 640 x 480 пикселов (при масштабе отображения 1:1) на диаметр шарика BGA вдоль короткой стороны экрана будет приходиться 68 и 44 пикселей соответственно.

Таблица 7-5 Поле зрения при контроле

Номинальный диаметр шарика (мм)	Шаг (мм)	Рекомендуемое увеличение	Поле зрения
0.75	1.5, 1.27	30X - 50X	15/0.75 = 20 шариков
0.60	1.0		15/0.60 = 25 шариков
0.50	1.0, 0.8		15/0.50 = 30 шариков
0.45	1.0, 0.8, 0.75		15/0.45 = 34 шарика
0.40	0.80, 0.75, 0.65		15/0.40 = 38 шариков
0.30	0.8, 0.75, 0.65, 0.50		15/0.30 = 50 шариков

Допуская ошибку линейных измерений, например, 2 пикселя (по одному с каждой стороны), получим погрешность измерений для каждого из корпусов BGA, равную 2/68 и 2/44, или 3% и 4.5% соответственно. Использование этих значений в дальнейшем при вычислении площади шариков для расчета критического процентного содержания пустот приведет к ошибке определения площади 9% и 20% соответственно. Для сравнения в рентгеновской системе с разрешающей способностью приемника 1600 x 1200 получим 171 и 109 пикселов с линейной погрешностью 1.2% и 1.8%, и ошибкой измерения площади 1.5% и 3.25% соответственно. Для продукции класса 3 допустимым считается максимальное содержание пустот 4% . В наихудшем случае, приведенном выше (а с учетом уменьшения габаритов устройств точность рентгеновских систем нижнего уровня будет прогрессивно снижаться), минимальная предельная концентрация, определяемая системой, составит около 3%, и это еще без учета других ошибок рентгеновских измерений (колебаний чувствительности к полутонам, эффектов геометрического увеличения и т. д.), которые только дополнительно понизят пороговый уровень обнаружения дефектов.

7.3.5 Сканирующая акустическая микроскопия Сканирующая акустическая микроскопия (Scanning Acoustic Microscopy (SAM)), также называемая сканирующей акустической томографией (Scanning Acoustic Tomography (SAT)), – это технология неразрушающего анализа дефектов. В ней для исследования внутренних слоев образца используются звуковые волны. Данная технология обычно используется в полупроводниковой промышленности для обнаружения расслоения и пустот внутри электронных приборов. Она позволяет обнаружить расслоение и пустоты и внутри корпуса BGA. Технология акустического сканирования также позволяет обнаруживать подобные дефекты в компаунде после установки BGA на плату.

Разрешающая способность обнаружения указанных дефектов зависит от частоты акустических колебаний, используемых для анализа. Разрешающая способность возрастает с ростом частоты. Преобразователь частоты на 230 МГц позволяет обнаруживать пустоты размером 25 мкм. Технология исследования одной точки называется SAM, исследования линии – b-SAM, а исследования области – c-SAM. На изображении c-SAM (рисунок 7-32) показано положение пустот в компаунде кристалла, собранного по технологии flip chip. Исследуемый образец необходимо поместить в воду на время ультразвукового сканирования. Пустоты или расслоения, открытые для попадания воды, невозможно обнаружить при помощи данного метода.

7.3.6 Измерение зазора между компонентами BGA и платой Для определение приблизительного зазора корпуса BGA после пайки неразрушающим методом используются толщиномеры. Толщиномером можно измерить зазоры в углах после проведения пайки, и по результатам определить среднее значение зазора. Этот метод не является таким же точным, как послойная рентгенография, но намного дешевле и не приводит к разрушению образца. Он требует достаточно свободного места вокруг корпуса BGA для установки толщиномера. По величине зазора между компонентом BGA и платой можно определить, что шариковые выводы припаяны полностью и равномерно. Для корпусов PBGA с шариковыми выводами размером 0,75 мм зазор равен приблизительно 0,60 мм перед пайкой и 0,45 мм (включая паяльную пасту) после пайки. Корпуса BGA других типов имеют собственные характеристики величины зазоров, определяемые размером шариков, используемым сплавом и наличием в конструкции BGA металлического теплоотводящего слоя. Поскольку каждый вид корпуса имеет собственные характеристики, для обеспечения возможности применения профилометров пользователи должны разработать профиль собранного узла.

7.3.7 Оптический контроль Эндоскопия – метод визуального контроля сверхмалых объектов в ограниченном пространстве. Эта технология адаптирована и применяется для проверки паяных соединений BGA. С помощью оптического контроля можно проводить анализ следующих важных параметров:

• Общее качество паяного соединения, оценка степени смачиваемости.

• Форма паяного соединения, оценка правильности оплавления.

• Структура поверхности паяного соединения, его гладкость и неоднородность.

• Общий внешний вид паяного соединения, наличие остатков флюса и пр.

• Дефекты пайки – перемычки, обрывы, холодные пайки

• Пропущенные шариковые выводы

Эта технология наилучшим образом подходит для проверки внешнего ряда паяных выводов компонентов BGA, как показано на рисунке 7-33. Ограниченность данной технологии заключается в невозможности осмотра внутренних рядов с тем же уровнем качества и четкости. Фокусировка на внутренних выводах возможна, но меньшим уровнем детализации. Обычно паста во втором или третьем ряду шариков уже не видна. По аналогии это напоминает невозможность увидеть дерево в середине леса, стоя на опушке.

Отличительной особенностью данной технологии является конструкция объектива. Объективы с высоким разрешением обладают способностью фокусировки и поворота изображения

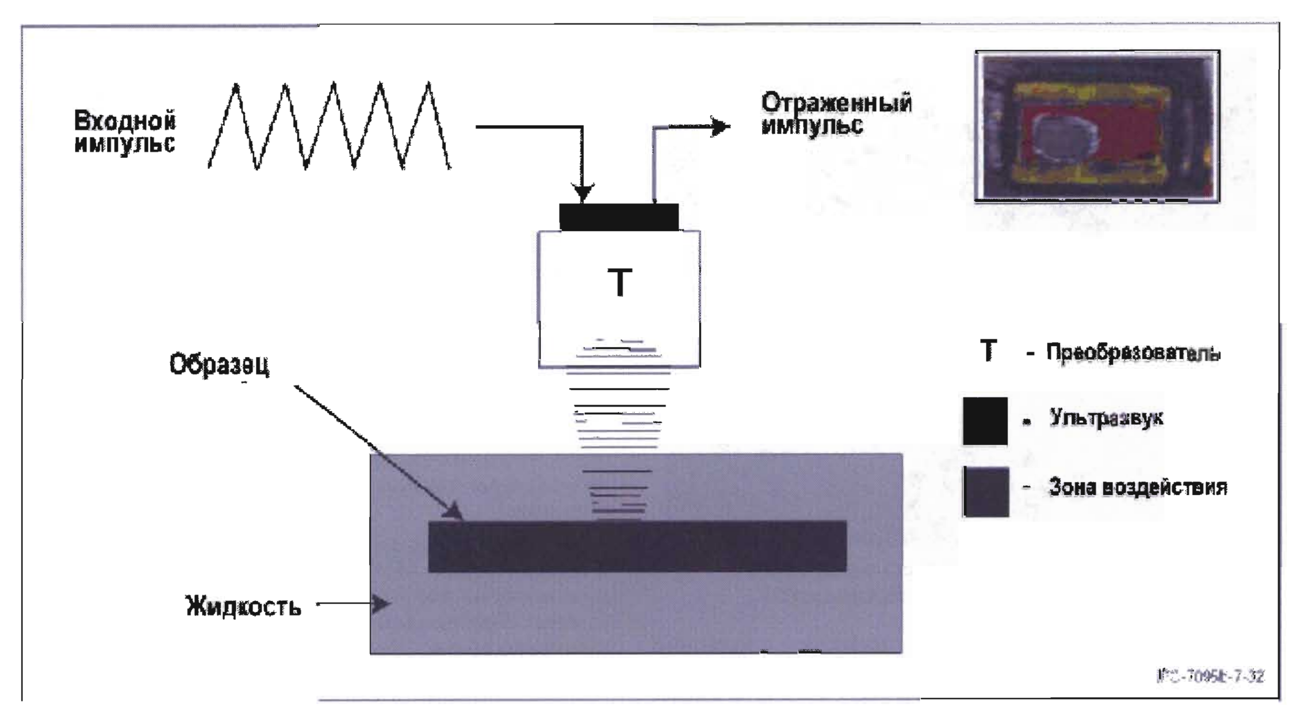


Рисунок 7-32 Сканирующая акустическая микроскопия



Рисунок 7-33 Пример изображения, полученного методом эндоскопии

на угол 90° при помощи зеркала или призмы. Для регистрации и отображения изображения используются ПЗС-камера с высоким разрешением и видеомонитор. Диапазон увеличения в зависимости от рабочего расстояния варьируется от 50х до 200х (см. рисунки 7-34 и 7-35).

Решающим фактором качества контроля является подсветка. Качество изображения будет невысоким, если источник света неправильно направлен на исследуемый паяный контакт. Переднее освещение позволяет проводить фронтальное исследование паяных соединений, тогда как заднее освещение применяется для определения замыканий и других дефектов. Заднее освещение также предназначено для отображения очертаний паяного соединения, что позволяет упростить осмотр его формы.

Неотъемлемой частью эндоскопа является надежная система позиционирования, которая обеспечивает адекватную опору и защиту объектива и ПЗС-камеры. Она должна защищать их от ударов и вибрации, а также иметь возможность перемещаться в необходимых пределах.

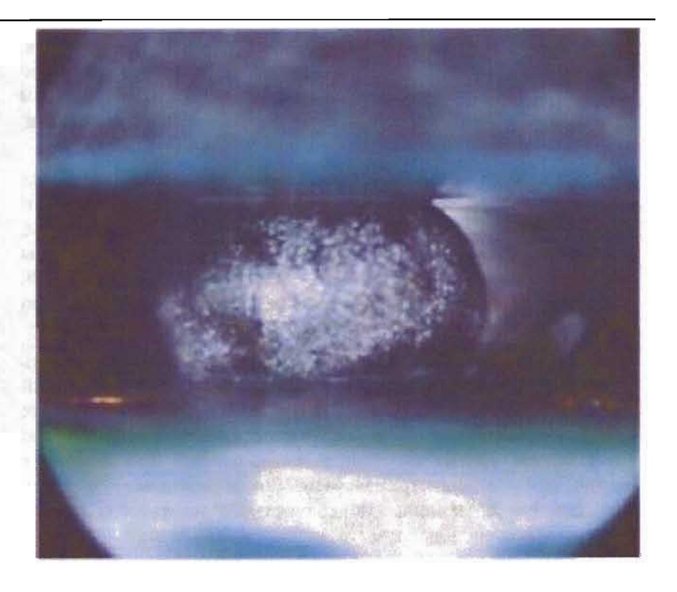


Рисунок 7-34 Бессвинцовый BGA с шагом 1.27 мм после оплавления в среде азота и промывки между операциями SMT

Для работы желательно применять аналитическое программное обеспечение. Кроме того, помимо изображения паяного соединения в режиме реального времени, желательно иметь функцию сохранения изображений и измерения. В некоторых системах качество паяных соединений определяется путем сравнения с фотографиями приемлемых и дефектных соединений. Сравнение анализируемого соединения с эталоном позволяет снизить уровень субъективности во время проверки.

7.3.7.1 Протоколы сборочных процессов BGA Надежность и механическая прочность соединений поверхностного монтажа имеет важнейшее значение, особенно в областях, предъявляющих высокие требования к надежности. Пустоты и другие дефекты могут понизить стойкость к



Рисунок 7-35 Бессвинцовый BGA после оплавления в воздушной среде и промывки между операциями SMT

термоциклированию; однако, имеются некоторые свидетельства в пользу того, что пустоты могут содействовать повышению надежности. Предполагается, что пустоты влияют на механическую прочность.

Пустоты в паяных соединениях - обычное явление, неизбежное, если речь идет о низких уровнях содержания. Содержанию пустот в BGA трудно дать количественную оценку неразрушающими методами. Единственным практическим решением является рентгеновская технология, но она слишком сложна.

На всех этапах сборочных процессов должны применяться протоколы с качественной оценкой содержания пустот. Восстановление брака, даже по необходимости, может только ухудшить ситуацию. Необходимо разработать протоколы пооперационного контроля и приемки партий готовых изделий. Дополнительные осложнения вызывает выполнение работ по соглашению и управление поставками.

Рядом ранних исследований отмечена неизбежность возникновения пустот. В результате проведенных испытаний дается характеристика пустот в обычных соединениях поверхностного монтажа, а также раскрывается связь аномального уровня отказов с аномальными причинами (в частности, с экстремальным содержанием пустот). Большинство соединений поверхностного монтажа содержит пустоты (под основанием, а также в основании / пояске галтелей). Большинство составляют пустоты, занимающие 5 - 20 процентов площади при небольшом количестве занимающих 0% или около 25%.

Соединения поверхностного монтажа с высоким уровнем ранних отказов не содержат пустот больше, чем соединения, отказавшие в поздние периоды эксплуатации. Это заключение основывается на сравнении сотен симметричных частей: пустоты в соединении, "отказавшем первым", занимают не больший процент площади, чем в соединении, "отказавшем последним". Убедительные данные свидетельствуют в пользу того, что отклонения от нормальных уровней содержания пустот не связаны с продолжительностью работы при термоциклировании.
Рентгеновский и металлографический методы контроля приблизительно эквивалентны, но оба имеют свои ограничения, сложности или субъективность оценки результатов.

Для типичных BGA пустоты занимают в среднем 10% площади паяных соединений с отдельными случаями ниже 5% или около 15% . В одном корпусе BGA процент занимаемой пустотами площади выводов колеблется в пределах от 0% до 35%.
В этом исследовании не рассматривалось аномальное содержание пустот, а также какие-либо тенденции или связь содержания пустот с длительностью термоциклирования. В одной из аналитических работ выполнено сравнение содержания пустот для нескольких типов BGA с ранними и поздними отказами, эквивалентных в другом отношении. Какой-либо корреляции не было найдено. Паяные соединения с ранними и поздними отказами имели одинаковое содержание пустот.

Учтите, что эти данные относятся ко всей матрице выводов BGA "в целом". Сведения о статистической связи "первого отказа соединения'' BGA с его долговечностью не приводятся. Поэтому отсутствует численная корреляция между долговечностью и процентным содержанием пустот. Не было получено достаточно достоверных данных, которые оказались бы полезными для выявления тенденций с погрешностью 5-10 процентов.

В настоящее время не имеется каких-либо новых данных, устанавливающих численную связь (содержание пустот - долговечность) для любого типа компонентов в каких-либо условиях. Предлагается считать нормальными такие пределы содержания пустот:

- Для контроля в процессе производства используйте в качестве пороговых значений >35% по площади в сочетании с >50% по диаметру пустот.

- Для выбраковки с отправкой на ремонт/доработку используйте в качестве пороговых значений >45% по площади в сочетании с >65% по диаметру пустот.

7.3.7.2 Обнаружение трещин в периферийных соединениях В дополнение к обычному осмотру паяных соединений, эта методика может быть использована для обнаружения разрушенных соединений, расположенных на периферии корпуса. Пользуясь отверткой с ограничителем крутящего момента, инженер может прикладывать небольшое усилие для разделения поверхностей излома. Эта методика позволяет обнаружить разомкнутое соединение неразрушающим способом, как показано на рисунке 7-36. Кроме того, специалист может определить причину отсутствия контакта - отрыв площадки, разрушение по границе раздела или разрушение в объеме припоя. Эта методика неприменима для некоторых типов подложек компонентов, в частности, изготовленных из ламинатов малой толщины, которые обладают повышенной гибкостью.

7.3.8 Методы разрушающего контроля Если неразрушающие методы поиска дефектов не приносят результата, можно использовать разрушающие методы анализа. В результате применения таких методов испытуемый образец выходит из строя. Как только причина неисправности найдена, информация о ней используется для применения мер по устранению проблемы.

7.3.8.1 Поперечный разрез Если неразрушающие методы не позволяют определить причину неисправности, может понадобиться применение разрушающих методов локализации проблемного участка. Одним из таких методов является поперечный разрез, позволяющий исследовать сечение компонента, печатной платы и паяных соединений.

Перед выполнением разреза необходимо определить область, которую следует проверить. Если под подозрением находятся сразу несколько участков одного компонента, необходимо определить, можно ли их исследовать последовательно друг за другом. Если это невозможно, следует определить приоритет каждой области и исследовать те, в которых вероятность обнаружения дефекта наиболее высока, или выполнить анализ нескольких компонентов.

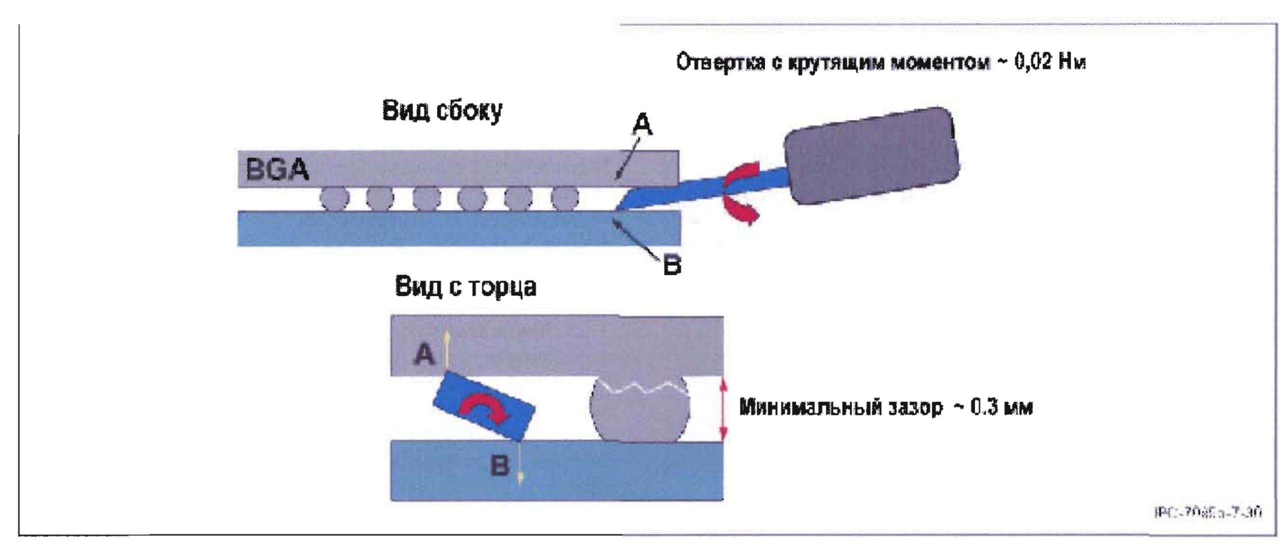


Рисунок 7-36 Инженерная методика определения наличия трещин

Затем, если проблемный участок является частью большого узла, для удобства контроля может понадобиться вырезать его из крупного узла. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы не исказить и не разрушить причину дефекта во время резки.

Во избежание образования осколков и разрушения образца во время выполнения поперечного сечения образец должен быть залит смолой (см. рисунки 7-37 и 7-38). При необходимости полировки интересующего участка следует разрезать образец на достаточном расстоянии от исследуемой поверхности, оставляя достаточно места для полировки.

В некоторых случаях необходимо сделать поперечный разрез всего компонента и исследовать целостность различных соединений. Типичный дефектом, обнаруживаемым с помощью поперечного разреза, является обрыв контакта. Такие обрывы встречаются на стыке припоя и контактной площадки.

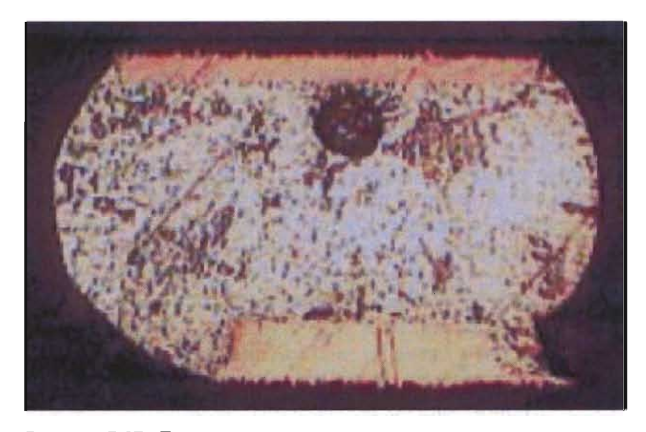


Рисунок 7-37 Пустота в плоскости сечения шарикового вывода

7.3.8.2 Цветная дефектоскопия Цветную дефектоскопию можно использовать во время отладки процесса и при анализе дефектов для обнаружения трещин в паяных соединениях, недостаточной смачиваемости припоем и расслоения.



Рисунок 7-38 Поперечное сечение зарождающейся трещины на стыке шарика и подложки

Образец погружается в жидкий краситель с низкой вязкостью, который проникает в трещины, расслоившиеся участки и открытые пустоты. С поверхности образца можно снять верхний слой и проверить наличие красителя в паяных соединениях и на границах поверхностей. Если используется флуоресцентный краситель, образец проходит исследование в ультрафиолетовых лучах. Краситель усиливает видимость трещин, которые сложно обнаружить другим способом. Наличие красителя на контактной площадке указывает на слабую смачиваемость площадки припоем, и может быть использовано для определения незакрытого припоем участка площадки; однако, полное проникновение красителя в очень тонкие трещины может быть затруднено из-за поверхностного натяжения жидкости (см. рисунки 7-39 и 7-40).

7.4 Тестирование и контрольная проверка

7.4.1 Электрические испытания Электрические испытания применяются для оценки функциональности электронного узла. Существует два распространенных способа проведения электрических испытаний: внутрисхемный контроль (ICT) и функциональный контроль (FT).

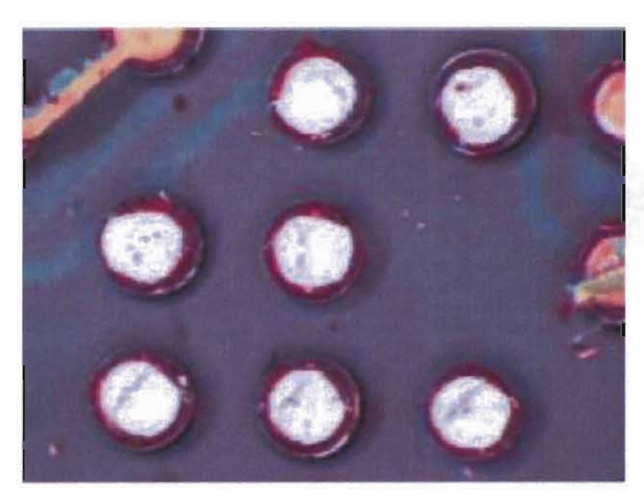


Рисунок 7-39 Краситель не проникает под шариковые выводы



Рисунок 7-40 Угловые шарики на 80-100% заполнены красителем, что говорит о наличии трещин

В методе внутрисхемного контроля ICT используется специальный адаптер с игольчатыми контактами для проверки готового узла. Этот метод контроля используется для обнаружения производственных дефектов и большинства дефектных компонентов. Метод ICT позволяет обнаруживать перемычки и обрывы контактов, неправильную ориентацию компонентов, неправильные и неисправные компоненты и замыкания проводников.

Другим подходом является установка недорогого внутрисхемного тестера в конце сборочной линии и использование его в качестве анализатора производственных дефектов (MDA). Платы проходят тестирование непосредственно после установки и пайки компонентов. Дефектные изделия сразу возвращаются производителю, что позволяет быстро внести коррективы в процесс сборки.

Метод внутрисхемного контроля ICT может быть дополнен полными функциональными испытаниями по окончании сборки. Функциональные испытания могут быть как очень простыми, определяя годна плата или нет, так и очень сложными, нацеленными на исследование всех функций схемы. Функциональные испытания (FT) используются для обнаружения неисправностей устройства в рабочих условиях. Из-за повышенных температур, что связано с применением бессвинцовых паяльных паст, может наблюдаться возрастание интенсивности окисления тестовых площадок или переходов. При использовании обычных оловянно-свинцовых припоев имеется возможность нанести пасту и выполнить оплавление, чтобы получить луженые тестовые площадки для зондов ICT. Бессвинцовые паяльные пасты не обладают столь же хорошей смачивающей способностью, что может вызвать проблемы с испытаниями ICT. Рекомендуется на стадии разработки технологического процесса экспериментально проверить влияние бессвинцовых паяльных паст на внутрисхемное тестирование.

7.4.2 Эффективность контроля При современной сложности электронных узлов уровень полноты контроля становится отраслевой проблемой. Чем выше сложность платы или узла, тем выше сложность его полного контроля. Может оказаться сложно протестировать даже сравнительно небольшую часть системы за разумный период времени без дополнительных затрат.

Если функции контроля собранных плат могут быть встроены в устанавливаемые приборы, для пустых плат эта методика неприменима. Таким образом, задачей контроля является обеспечение полноты тестирования с высоким уровнем надежности в течение разумного периода времени.

Эффективная система контроля процесса состоит из инструментов, имеющих перекрывающиеся области действия. Поскольку единого метода или инструмента, решающего все задачи контроля, не существует, требуется использовать несколько инструментов и методов. Оптический контроль, рентгеноскопия, акустическое сканирование, внутрисхемный и функциональный контроль – примеры технологий с перекрывающимися областями проверки. Эти технологии должны использоваться для контроля продукции и производственного процесса; их не следует использовать только для отображения информации и разделения изделий на годные и негодные.

7.4.3 Испытания при повышенной нагрузке Испытания при повышенной нагрузке – это функциональные и полевые испытания собранной системы на границах предельно допустимых условий. Эти испытания обычно позволяют найти больше дефектов, чем просто некачественные паяные соединения. Нагрузочные испытания до сих пор используются для тестирования компонентов. Однако для собранных печатных узлов на смену нагрузочным испытаниям приходят ускоренные тесты для обнаружения пограничных результатов.

7.4.4 Испытания воздействием окружающей среды Испытания воздействием окружающей среды (ESS) используются для выявления изделий низкого качества и изделий со скрытыми дефектами. Целью испытаний ESS является ускорение выявления скрытых дефектов и, таким образом, устранение их влияния в полевых условиях. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы в процессе проведения ESS не вывести из строя качественные изделия и не вызвать образование новых скрытых дефектов. Усталостную долговечность припоя в BGA можно определить при термоциклировании в ходе испытаний ESS, при помощи других тестов, а также по эксплуатационной долговечности в заданных температурных условиях.

7.5 Критерии контроля процесса сборки пластиковых корпусов BGA Наибольший интерес для производителей плат с компонентами BGA представляет допустимый уровень содержания пустот, возникающих в процессе сборки и их влияние на надежность. Подробные требования к приемке

готовой продукции приведены в стандарте J-STD-001; требования качества изготовления должны соответствовать стандарту IPC-A-610.

В данном разделе описаны практические критерии разработки производственного процесса и обслуживания, а также сделана попытка определить проблемы, связанные с созданием приемлемого процесса сборки. Большинство рекомендаций относится к системам с пластиковыми компонентами BGA с эвтектическими шариковыми выводами.

7.5.1 Пустоты в шариковых выводах По современным данным, собранным в промышленности, пустоты не влияют на надежность паяного соединения. Фактически появление пустот после пайки является индикатором того, что процесс оплавления имел место, и характеристики шариковых выводов BGA изменились. Однако изменение размера или количества пустот может служить сигналом необходимости изменения технологических параметров. Двумя подтвержденными причинами возникновения пустот являются оставшийся в припое флюс, который не успел удалиться из паяльной пасты, и загрязнения на недостаточно очищенной печатной плате. Пустоты проявляются в виде светлых областей внутри шарикового вывода, и обычно произвольно разбросаны по всем выводам. Рентгеновские системы контроля искажают размер пустот из-за эффекта визуального увеличения светлых участков при росте управляющего напряжения рентгеновской трубки. Точное измерение объема пустоты возможно, но для этого необходим эталон для проведения радиометрической калибровки рентгеновской пленки или приемника. В большинстве случаев усилия лучше потратить на идентификацию и устранение причины возникновения пустот.

7.5.1.1 Причины возникновения пустот Пустоты возникают в самих шариковых выводах BGA, в плоскости соединения вывода с контактной площадкой корпуса BGA и плоскости соединения вывода с контактной площадкой ПП. Пустоты возникают по многим причинам.

Могут сохраняться пустоты, возникшие в шариковом выводе в процессе его изготовления. В паяном соединении могут остаться пустоты, бывшие в исходных шариковых выводах; также пустоты могут возникать во время пайки компонентов оплавлением. Пустоты также могут появляться в плоскости соединения шарика и контактной площадки ПП во время установки корпуса BGA на плату. Такие пустоты обычно появляются во время пайки оплавлением из-за испарения флюса, оставшегося внутри расплавленного припоя. Источником паров флюса может быть либо наносимый отдельно флюс (обычно во время ремонта), либо флюс, входящий в состав паяльной пасты, применяемой в процессе пайки оплавлением.

Появление пустот в паяных соединениях обусловлено усадкой при затвердевании, наличием влаги и испарением флюса. Это явление наблюдается и для устройств с выводами, но в большей степени выражено у BGA из-за большей нагрузки на паяные соединения по сравнению с устройствами, имеющими гибкие выводы.

• Усадка - внутренний объем паяного соединения является последней затвердевающей частью, что может сопровождаться образованием пустот.

• Влага и загрязнения являются источником газов, которые могут быть захвачены во время пайки.

• Флюс в пасте разлагается и переходит в газообразное состояние при подъеме температуры в печи оплавления. В BGA газы плотно защемляются между двумя поверхностями, и концентрация возникающих пустот обычно возрастает в направлении верхней части паяного соединения. Высокая скорость подъема температуры может способствовать образованию пустот, поскольку сокращается время для их миграции за пределы соединения (например, при использовании скорости 75°C в минуту вместо 60°C в минуту)

• При использовании пастообразного флюса для монтажа PBGA образуется меньше пустот, чем в случае применения паяльной пасты.

• Чрезмерное количество флюса в процессе ремонта может стать причиной появления пустот.

• Правильный температурный профиль и очистка деталей печи способствуют снижению количества пустот в припое

Помимо пустот, образующихся в паяных соединениях с переходными отверстиями в контактной площадке (см. 6.3.5), пустоты возникают и в верхней части шарикового вывода (возле плоскости соединения шарика и контактной площадки корпуса BGA). Это происходит из-за того, что пузырьки включенного воздуха и испаряющегося флюса поднимаются вверх по выводу во время пайки оплавлением. Испарение возникает, если нанесенная паяльная паста и осаживающиеся эвтектические шариковые выводы расплавляются вместе во время пайки, обычно при пиковой температуре от 210 до 230°C для оловянно-свинцовых и 235-245°C для бессвинцовых припоев. Металлургический состав и шероховатость поверхности шариковых выводов приобретаемых компонентов тоже могут дать вклад в образование пустот в шариках.

Если температурный профиль пайки не позволяет попавшему воздуху и парам флюса выходить наружу, то во время затвердевания припоя при понижении температуры образуется пустота. Поэтому следует уделить особое внимание разработке температурного профиля пайки, так как он может являться причиной образования пустот в паяных соединениях. Большое значение имеет сотрудничество с производителем паяльных паст - это позволяет установить правильный профиль оплавления для состава паяльной пасты, которую предполагается использовать.

Образование пустот в паяных соединениях не является чем-то новым. Пустоты в припое можно обнаружить и под компонентами с обычными выводами при помощи рентгеновского оборудования; однако исторически сложилось так, что паяные соединения компонентов с обычными выводами осматривались только визуально, без использования рентгена, поэтому пустоты не обнаруживались. Поставщики приборов BGA должны проводить рентгенографическое исследование BGA перед и после проведения имитации поверхностного монтажа по стандарту J-STD-002 (тест S), необходимой для выявления аномалий, которые могут привести к ухудшению паяемости.

Образование пустот может стать результатом загрязнения поверхности контактной площадки компонента или ПП, формирования интерметаллического соединения между шариковым выводом и контактной площадкой или наличия остатков флюса после сборки, как показано на рис. 7-41.

7.5.1.2 Влияние пустот Какие размеры и количество пустот допускаются без ощутимого влияния на надежность соединения? Влияние пустоты на надежность заключается в ослаблении соединений и ухудшении функциональных характеристик, так как уменьшение площади контакта приведет к ухудшению теплопередачи и увеличению электрического сопротивления.



Рисунок 7-41 Небольшие пустоты, сгруппировавшиеся на границе шарика и контактной площадки

Наиболее вредны большие пустоты; ранее существовавшие малые пустоты могут соединиться во время пайки и создать пустоты большего размера. Предпочтительнее избегать образования пустот или хотя бы существенно уменьшать их количество. На стадии разработки технологического процесса должен быть организован текущий контроль, чтобы свести к минимуму образование пустот.

Ряд проведенных исследований выявили небольшое увеличение надежности в результате образования пустот среднего размера. Эти пустоты обычно возникают в результате неконтролируемых процессов. Увеличение надежности является следствием увеличения высоты паяного соединения и временной и локальной задержки развития трещин.

Для обнаружения пустот в шариковых выводах BGA требуется рентгеновский контроль; для определения влияния пустоты или ее положения может понадобиться исследование поперечного сечения вывода.

Недорогое рентгеновское оборудование работает по принципу просвечивания образца рентгеновскими лучами. В отличие от обычных компонентов с расположением выводов по периметру, выводы компонента BGA расположены не только по его периметру, но и внутри, что делает невозможным их исследование с помощью обычных визуальных методов. Более дорогое оборудование работает по принципу рентгеновской томографии или ламинографии. Системы обоих типов обеспечивают эффективное обнаружение и локализацию пустот (см. 7.3.1). Перед принятием окончательного решения об использовании технологического процесса в промышленном производстве рекомендуется оценить его на количество пустот в паяных соединениях.

7.5.1.3 Затруднения при проведении рентгеновского контроля и измерений

Во многих рентгеновских системах реального времени, используемых для обнаружения пустот в паяных соединениях, в приемнике излучения наблюдаются искажения, известные в литературе как «Voltage Blooming» или «Phosphor Blooming». В любой системе, использующей электронно-оптический преобразователь или плоский фотоприемник, теоретически могут создаваться ореолы на изображении. Однако современные высококонтрастные рентгеновские системы способны обеспечить изображение высокого качества. На рисунке 7-42 приведен пример засветки из-за превышения управляющего напряжения в трубке системы устаревшего типа. Если в используемой рентгеновской системе существует данное искажение, для точного измерения размера пустот следует выполнить следующие рекомендации:

• Для более точного определения размера пустот следует использовать метод рентгеновской съемки на пленку, который не подвержен описанному искажению.

• Выбор напряжения рентгеновской трубки следует производить по реальному размеру пустоты, измеренному при послойном исследовании или имитационного моделирования. Примечание: Контрастность изображения должна быть такой, чтобы проводник, проходящий через пустоту, был виден.

• В рентгеновских системах со шкалой серого от 1 до 256 следует выполнить масштабирование для каждого значения напряжения и тока в диапазоне от 120 до 140. Нормализованная шкала серого обеспечит постоянство измерений.

7.5.1.4 Классификация пустот В целях классификации типов пустот и возможных путей улучшения технологического процесса пустотам был присвоен специальный идентификатор, основанный на месте их расположения. В таблице 7-6 приведены критерии классификации положения пустот в шариковых выводах компонентов BGA.

Существует пять различных типов пустот:

Тип А: Пустоты, изначально существующие внутри шариковых выводов (уровень корпуса) приобретенных компонентов.

Тип В: Пустоты, изначально существующие в плоскости соединения контактных площадок подложки и шариковых выводов приобретенных компонентов.

Тип С: Пустоты, образовавшиеся внутри шариковых выводов после пайки компонента на плату.

Тип D: Пустоты, образовавшиеся на границе раздела контактных площадок корпуса и шариковых выводов после пайки компонентов на плату.

Тип Е: Пустоты, образовавшиеся на границе раздела контактных площадок платы и шариковых выводов после пайки компонентов на плату.

7.5.1.5 Управление процессом возникновения пустот Конечные пользователи должны сотрудничать с поставщиками по вопросу снижения количества и размера пустот в шариковых выводах BGA до определенного допустимого уровня. Поставщики могут вносить изменения в свои технологические процессы и материалы для соблюдения таких рекомендаций. Обычно в выводах приобретаемых компонентов BGA количество пустот мало.

Для совершенствования процесса пайки необходимо проанализировать температурный профиль оплавления, количество флюса, тип и свойства материалов. На формирование пустот также может повлиять изменение или оптимизация материалов и процессов.

Избыточный объем флюса во время установки и ремонта компонентов BGA часто приводит к образованию пустот из-за испарения флюса. Характеристики процесса должны быть заданы таким образом, чтобы свести объем флюса к минимуму.

В бессвинцовом процессе имеется несколько значительных факторов, которые должны быть проанализированы в части их влияния на возникновение пустот. К этим важнейшим факторам относятся, но не ограничиваются только ими:

• Конструкция трафарета

• Флюс и метод его нанесения

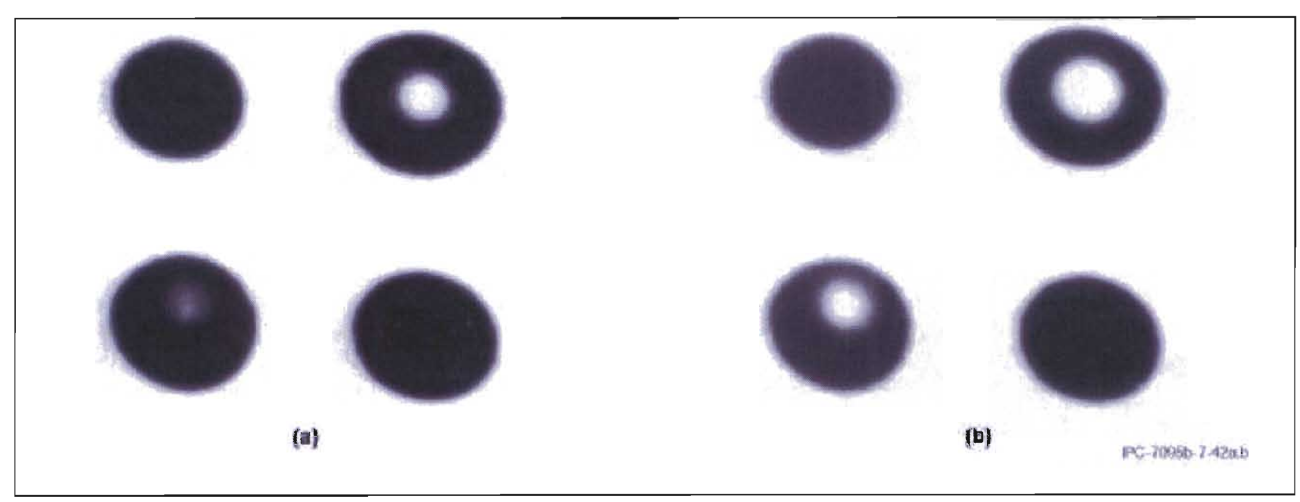


Рисунок 7-42 Рентгеновское изображение шариковых выводов с пустотами при напряжении 50 кВ (a) и 60 кВ (b)

Таблица 7-6 Классификация пустот

Происхождение пустот	Пустоты внутри шарика	Пустоты на границе шарика и корпуса	Пустоты на границе шарика и печатной платы
Пустоты в шариках BGA, существовавшие перед установкой компонента на ПП	Тип A	Тип B	нет
Пустоты в шариках BGA, возникшие после установки компонента на ПП	Тип C	Тип D	Тип E

- Состав паяльной пасты
- Профиль оплавления
- Атмосфера оплавления (азот или кислород)
- Покрытие поверхности
- Оплавление за один или за два прохода
- Наличие или отсутствие микропереходов

Многие из трудностей, разъясняемых в следующих параграфах, могут быть преодолены благодаря сотрудничеству с поставщиком паяльных паст для тонкой настройки технологического процесса с учетом конкретных особенностей состава применяемых паст. Методы решения проблем управления технологическим процессом не описываются в учебниках. Для совершенствования технологии необходимо проанализировать и проконтролировать каждую из переменных с применением методов планирования эксперимента (design of experiment - DoE).

7.5.1.6 Пустоты в паяных соединениях BGA Идентифицированы и описаны пустоты в паяных соединениях шести типов. Обобщение характеристик каждого из видов пустот приводится на рисунке 7-43, на котором показаны типичные размеры и расположение пустот в паяном соединении BGA.

Макропустоты встречаются в паяных соединениях чаще всего. Причиной их возникновения являются летучие соединения, которые выделяются во время процесса пайки. Макропустоты, как правило, не влияют на надежность паяных соединений, если не располагаются в межфазных областях, вдоль которых обычно распространяются трещины.

Планарные микропустоты представляют собой серию небольших пустот, располагающихся приблизительно в одной плоскости, расположенной на поверхности раздела между площадками платы и припоем. Причиной их появления являются каверны в меди на площадках под слоем финишного покрытия ImAg. Они не влияют на первоначальное качество изделия, но могут воздействовать на долговременную надежность паяных соединений. Их можно устранить путем строгого соблюдения составов всех применяемых при нанесении покрытий ImAg растворов и травителей, а также непрерывного контроля других критических параметров процесса нанесения финишных покрытий на поверхность плат.

Усадочные пустоты вызываются усадкой при затвердевании, в основном, сплавов SAC и других бессвинцовых припоев. Они обычно не появляются вблизи поверхности контакта припоя с площадками платы и не ухудшают надежность паяных соединений. Появление усадочных пустот можно свести к минимуму, увеличив скорость охлаждения во время пайки; следует также избегать посторонних воздействий на соединения во время затвердевания.

Пустоты в микропереходах обусловлены наличием микропереходов в конструкции площадок платы. Крупные пустоты в микропереходах в случае их появления в паяных

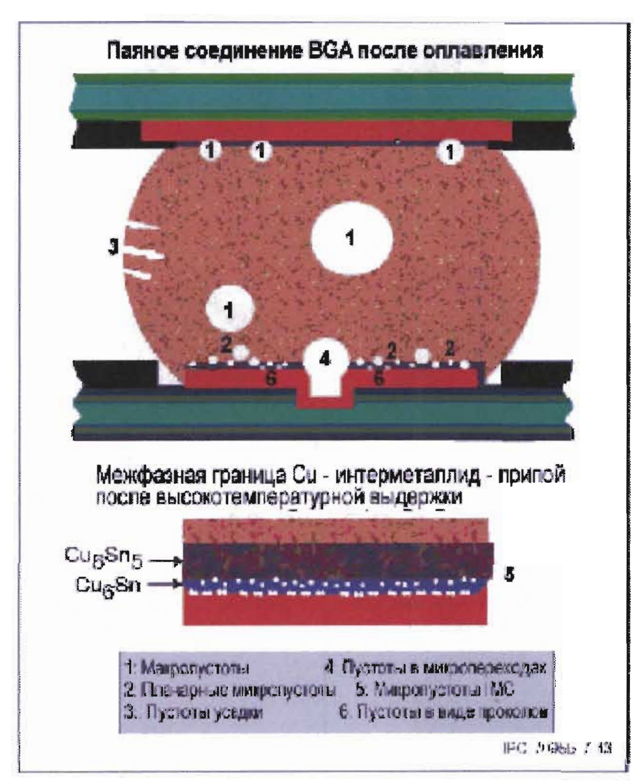


Рисунок 7-43 Типичные размеры и расположение пустот различного вида в паяных соединениях BGA

соединениях, расположенных в высоконагруженных областях корпуса, могут повлиять на надежность соединений. Уменьшить до минимума образование пустот этого типа можно, закрывая отверстия микропереходов сплошным покрытием или полностью заполняя их паяльной пастой, выполнив двукратную трафаретную печать.

Микропустоты IMC возникают в интерметаллических соединениях (IMC), образующихся между медью и припоями с высоким содержанием олова, включая SAC и оловянно-свинцовые припои. Микропустоты IMC формируются не сразу после процесса пайки, а после высокотемпературного старения или во время термоциклирования паяных соединений. Истинная причина их возникновения находится в стадии исследования, но не исключено участие механизма образования пустот Киркендалла (Kirkendall). Эти пустоты могут повлиять на надежность паяных соединений, особенно в случаях образования хрупкого разрушения в слое IMC при падении или механическом ударе. Одним из способов снижения количества микропустот IMC является легирование припоя определенными элементами, в частности, цинком.

Пустоты типа "булавочный накол" вызываются наколами в медных площадках платы. При большом их количестве они могут повлиять на надежность паяных соединений. Пустоты этого типа появляются вследствие того, что реактивы, попавшие в наколы на плате при ее изготовлении, испаряются в процессе пайки оплавлением. Наколы возникают из-за отклонений в технологическом процессе нанесения меди у производителя плат, и могут быть устранены за счет современных систем контроля процесса нанесения медных покрытий.

При обнаружении пустот в паяных соединениях их необходимо сначала отнести к одной из перечисленных выше категорий, чтобы установить степень влияния на надежность паяных соединений и определить меры, предпринимаемые для снижения их количества или полного устранения.

7.5.1.7 Критерии управления технологическим процессом по уменьшению количества пустот в шариковых выводах Существует постоянная необходимость в развитии процессов и управлении ими, для того чтобы приспособить их к изменяющимся технологиям. Т.к. размеры и шаг контактных площадок и шариковых выводов продолжают уменьшаться, размерные параметры, используемые на производстве, нуждаются в изменении. Для достижения необходимого качества и надежности требуются новые материалы и процессы.

Пустоты с большой вероятностью можно обнаружить на разных стадиях от разработки до изготовления. Для удовлетворения требований заказчиков и обеспечения долговечности и надежности необходимо соблюдение допустимых границ вблизи минимально допустимых значений. Производители должны использовать управление процессом и непрерывно совершенствовать технологии, уменьшающие количество пустот. Можно применять существующие системы статистического управления процессом и инструменты совершенствования процессов.

Изменение количества и размера пустот должно указывать на необходимость управления процессом, а также улучшения процесса и материалов. Для определения необходимости внесения изменений в процесс для контроля количества и размера пустот необходимо отталкиваться от некоторого порогового значения. Кроме того, можно установить и предельный размер пустот. Этот размер определяется относительно размера шарикового вывода. Пустота размером больше, чем 25% диаметра поперечного сечения шарика, занимает примерно 6% от всей площади соединения (см. рисунок 7-44). Любой из таких пределов контроля процесса должен устанавливаться с согласия заказчика.



Рисунок 7-44 Пустота на границе контактной площадки платы и вывода

Если в одном шарике возникает несколько пустот, их размеры должны складываться для подсчета общего объема пустот шарикового вывода.

Если соотношение диаметра пустоты и диаметра проекции шарика известны, приобретает смысл численное выражение отношения размеров. Различие диаметров на 25% не имеет

значения не имеет значения при более крупных размерах сечения шарика, но становится существенным, если диаметр площадки сокращается для установки шарикового вывода меньшего размера или BGA с меньшим шагом. Это можно показать путем определения площади соединения с площадкой после того, как был определен размер пустоты.

Проекция шарика BGA диаметром 600 мкм с 25% пустоты =

$$\frac{(Dvoid)^2 - 22500\ \mu m^2}{(Dball)^2 = 360000\ \mu m^2}$$

= 6.25% площади занимает пустота.

Сравнивая площадь проекции шарика с площадью проекции пустоты получим в остатке 265073 мкм^2 (πr^2).

Проекция шарика BGA диаметром 300 мкм с 25% пустоты =

$$\frac{(Dvoid)^2 = 5625\ \mu m^2}{(Dball)^2 = 90000\ \mu m^2}$$

= 6.25% площади занимает пустота.

Сравнивая площадь проекции шарика с площадью проекции пустоты получим в остатке 66268 мкм^2 (πr^2).

С точки зрения влияния на надежность соединения, расположение пустот внутри шарикового вывода более важно, чем их объем. Не существует доказательств или эмпирических данных, показывающих, что наличие пустот внутри шарика приведет к неисправности. Пустоты на границе шарика и контактных площадок подложки и печатной платы с большой вероятностью способствуют возникновению трещин в соединении. Это происходит из-за того, что трещины (если они возникают) обычно возникают именно на границе, а пустоты в этой области ускоряют развитие трещин с течением времени.

На рисунке 7-45 показана блок-схема оптимального алгоритма определения влияния, оказываемого пустотами на конечный продукт.

7.5.1.8 Критерии годности и отбраковки Критерии годности и отбраковки плат с компонентами BGA определяются стандартами J-STD-001 и IPC-A-610. В этих документах приводятся окончательные критерии годности и отбраковки, используемые в договорах на поставку. Коррекция технологического процесса, рассматриваемая в следующих разделах, направлена на непрерывное совершенствование с учетом размера пустот, их расположения и метода определения причины возникновения.

Кроме того, пустоты в выводах разделяются на две группы: существовавшие до пайки компонента на плату, и возникшие в процессе пайки. Данная полезная информация может быть связана с характеристиками надежности, основанными на условиях эксплуатации. Используя ограничение размеров пустот, можно разработать такой технологический процесс, который будет обеспечивать соответствие допустимым требованиям, определенным заказчиком.

7.5.1.9 Определение характеристик процесса Определение характеристик процесса основывается на информации о размерах пустот и выполняется в соответствии с рекомендациями блок-схемы на рисунке 7-45.

Сочетание расположения пустот, их размера и количества помогает определить характер необходимых действий для трех классов структур, установленных стандартом IPC. В таблице 7-7 приведены рекомендации для шага шариковых выводов 1.5, 1.27 и 1.0 мм. В таблице 7-8 даются рекомендации для шага выводов 0.8, 0.65, 0.5 мм. В таблице 7-9 приводятся рекомендации для шага 0.5, 0.4 и 0.3 мм при использовании технологии "переходное отверстие в площадке".

Все три таблицы определяют определенные типы пустот и связывают эту информацию с их допустимым содержанием для трех классов исполнения, принятых IPC. Для определения направления корректировки процесса или изменения его параметров удобно применять оценку увеличения числа пустот, которая была принята в качестве целевого значения.

Изменение процесса должно осуществляться согласно соответствующей методике SPC (статистическое управление производством), использующейся для обычных производственных циклов.

Данные из этих таблиц необходимо также использовать для представления новых изделий, описания изделий и процессов, изменения настройки оборудования, описания компонентов, ответов на запросы заказчиков и других подобных изменений процесса или параметров. Выборочный контроль качества должен выполняться на уровне собранного печатного узла, если результаты SPC не показывают проблем, относящихся к компонентам (например, наличие пустот в осаживающихся шариковых выводах одного из компонента BGA и отсутствие пустот в других выводах других компонентов на той же плате). В этом случае выборочный контроль должен выполняться на уровне компонентов, а не на уровне сборочного процесса.

BGA с малым шагом - Как было показано в разделе 7.1.5.7, величина площади присоединения, которая остается после определения содержания пустот, значительно меньше, чем применяется в BGA со стандартным шагом. В таблице 7-8 приведены корректирующие действия, которые следует предпринять при обнаружении пустот на рентгеновском изображении на стадии входного контроля компонентов или после сборки. Сечение шарика зависит от шага BGA, и если он уменьшается, то соответственно уменьшается размер площадки и суммарная площадь соединения. Это учитывается в рекомендациях для ввода поправок в виде снижения размера пустот для компенсации и повышения, таким образом, окончательной надежности соединения.

Применение конструкции "переходное отверстие в площадке" в BGA с малым шагом - По мере того, как уменьшается шаг выводов, необходимость оставить достаточное пространство для разводки соединений стимулирует применение микропереходов и конструкции "переходное отверстие в площадке". При использовании конструкций, необходимых для бессвинцовой сборки, условия становятся еще более жесткими. На рисунке 7-46 показан пример распространения трещины в паяном соединении с началом от пустоты, образовавшейся из-за отсутствия материала на площадке. Это явление можно предотвратить путем заполнения перехода и нанесения на него покрытия таким образом, чтобы исключить захват воздуха, провоцирующий его. Конструкции "переходное отверстие в площадке" требуют дополнительных ограничений в нормативах на содержание пустот, что отражено в таблице 7-9.

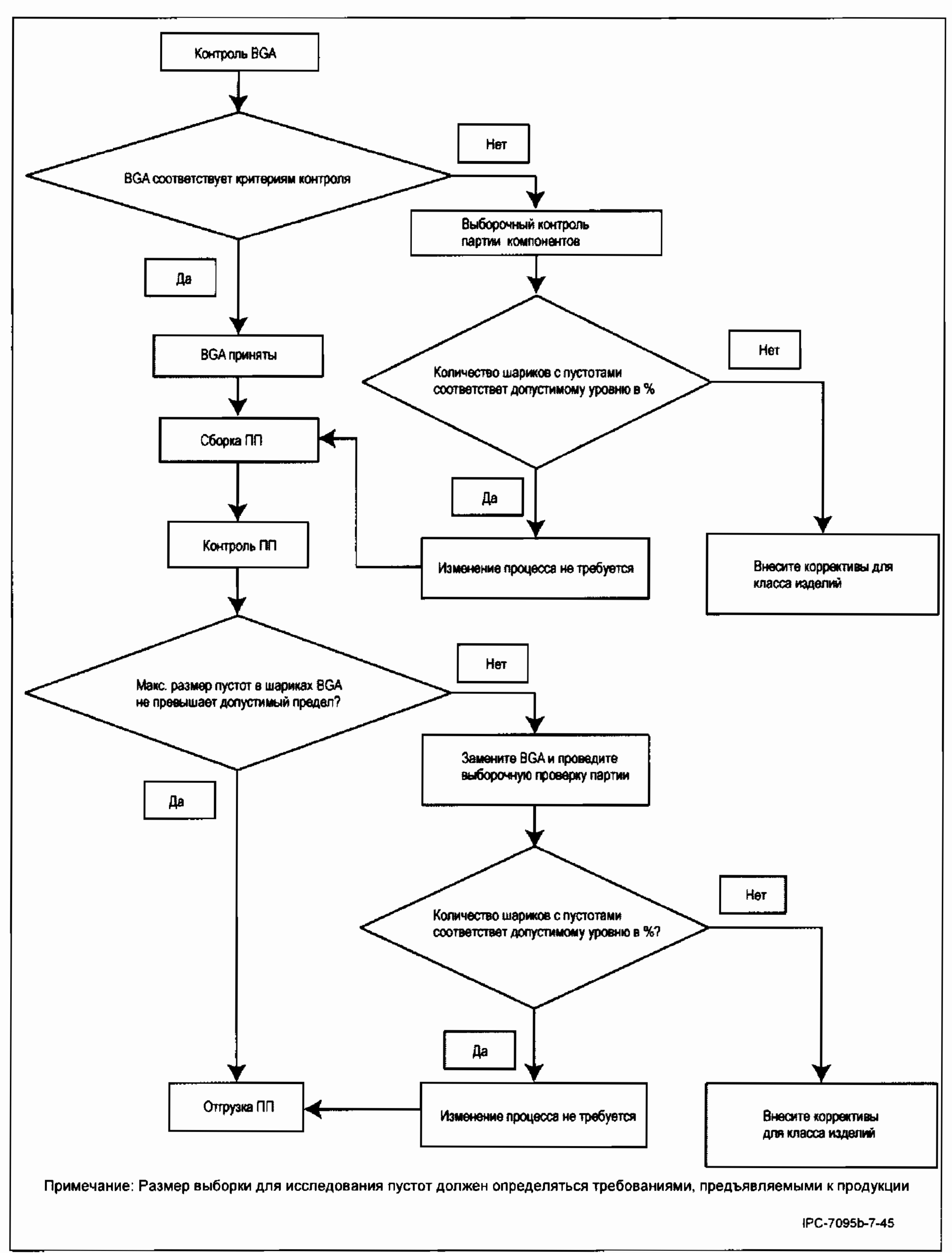


Рисунок 7-45 Типичный алгоритм оценки количества пустот (индикаторы процесса) приведены в таблицах 7-7, 7-8, 7-9)

Таблица 7-7 Индикаторы процесса для площадок с шагом 1.5, 1.27 или 1.0 мм

Тип пустот	Описание пустот	Индикатор процесса			Предпринимаемые действия
		Класс 1	Класс 2	Класс 3	
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при входном контроле компонентов (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A	Пустоты внутри шарикового вывода (перед сборкой)	До 90% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
B	Пустоты на границе корпуса (перед сборкой)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 10% его площади (32% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 5% его площади (22% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при оценке после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
C	Пустоты внутри шарикового вывода после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
D	Пустоты на границе корпуса после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
E	Пустоты на границе монтажной поверхности после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Шарики с суммарным размером пустот меньше 2% площади (15% диаметра изображения) не учитываются			
Определяется методом просвечивающей рентгеноскопии при оценке процесса по входящим компонентам или после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A, B	Пустоты в загружаемых компонентах	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 10% его площади (32% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 5% его площади (22% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
C, D, E	Пустоты после пайки печатного узла	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения))	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы

Таблица 7-8 Индикаторы процесса для площадок с шагом 0.8, 0.65 или 0.5 мм

Тип пустот	Описание пустот	Индикатор процесса			Предпринимаемые действия
		Класс 1	Класс 2	Класс 3	
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при входном контроле компонентов (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A	Пустоты внутри шарикового вывода (перед сборкой)	До 90% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
B	Пустоты на границе корпуса (перед сборкой)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 12% его площади (35% диаметра изображения)	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 9% его площади (30% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 4% его площади (20% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при оценке после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
C	Пустоты внутри шарикового вывода после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
D	Пустоты на границе корпуса после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 12% его площади (35% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
E	Пустоты на границе монтажной поверхности после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 12% его площади (35% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Шарики с суммарным размером пустот меньше 2% площади (15% диаметра изображения) не учитываются			
Определяется методом просвечивающей рентгеноскопии при оценке процесса по входящим компонентам или после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A, B	Пустоты в загружаемых компонентах	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен9% его площади (30% диаметра изображения)	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 6% его площади (25% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 4% его площади (20% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
C, D, E	Пустоты после пайки печатного узла	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 20% его площади (45% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 10% его площади (32% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Шарики с суммарным размером пустот меньше 4% площади (20% диаметра изображения) не учитываются			

Таблица 7-9 Индикаторы процесса для площадок с микропереходами при шаге 0.5, 0.4 или 0.3 мм

Тип пустот	Описание пустот	Индикатор процесса Класс 1	Класс 2	Класс 3	Предпринимаемые действия
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при входном контроле компонентов (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A	Пустоты внутри шарикового вывода (перед сборкой)	До 90% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 9% его площади (30% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
B	Пустоты на границе корпуса (перед сборкой)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 6% его площади (25% диаметра изображения)	До 70% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 4% его площади (20% диаметра изображения)	До 50% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 2% его площади (15% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
Определяется методом поперечной рентгеновской ламинографии при оценке после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
C	Пустоты внутри шарикового вывода после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 25% его площади (50% диаметра изображения)			Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите
D	Пустоты на границе корпуса после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 10% его площади (32% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 5% его площади (22% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Учитываются все шарики с суммарным содержанием пустот независимо от их размера			
E	Пустоты на границе монтажной поверхности после пайки печатного узла	До 100% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 15% его площади (40% диаметра изображения)	До 80% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 10% его площади (32% диаметра изображения)	До 60% шариков могут иметь пустоты Максимальный размер пустоты в любом шарике равен 5% его площади (22% диаметра изображения)	Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите коррективы
		Шарики с суммарным размером пустот меньше 2% площади (15% диаметра изображения) не учитываются			
Определяется методом просвечивающей рентгеноскопии при оценке процесса по входящим компонентам или после сборки (выборка в соответствии с разделом 7.5.1.10)					
A, B	Пустоты в загружаемых компонентах	Не рекомендуется			Определите основную причину в процессе и внесите коррективы
C, D, E	Пустоты после пайки печатного узла	Не рекомендуется			Определите основную причину в процессе и используемых компонентах, внесите

Примечание: Если конструкцией или процессом изготовления платы не предусматривается заполнение переходов, необходимо создать группу специалистов в составе конструктора, поставщика материалов и специалиста по сборке для проведения экспериментов с целью снижения образования пустот. После того, как содержание пустот будет сведено до минимума, необходимо задать уровень приемки по содержанию пустот для данного изделия и использовать его для контроля процесса производства.

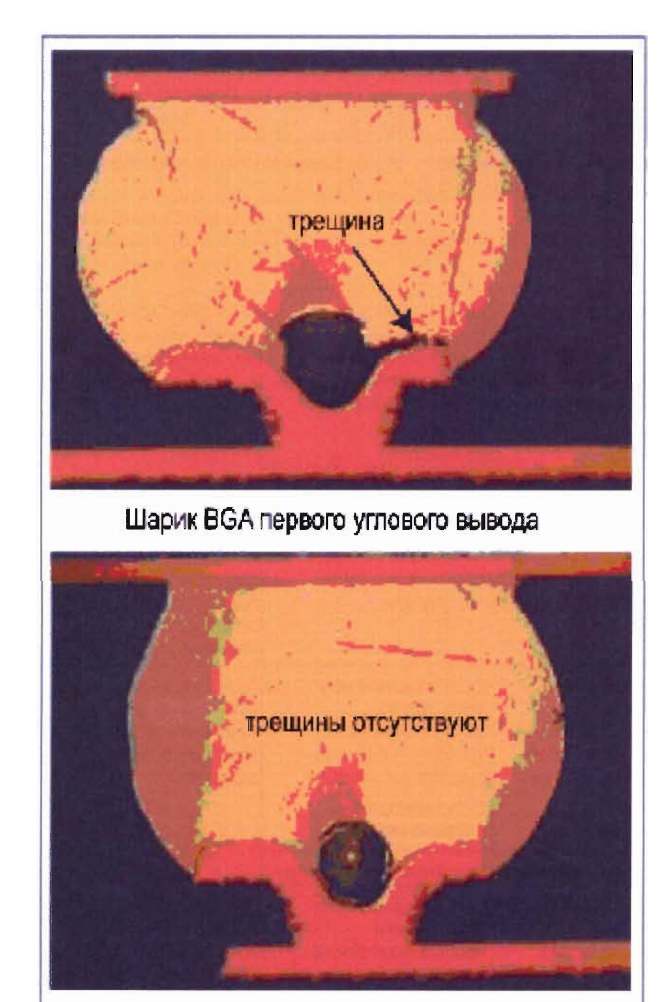


Рисунок 7-46 Пустоты в BGA с началом трещины от углового шарика

7.5.1.10 Разработка протоколов содержания пустот Во многих случаях, выполнив контролируемые эксперименты для определения характеристик проекта, группа специалистов создает протокол, описывающий допустимый уровень содержания пустот. На рисунке 7-47 показан пример протокола, в котором отражается изменение размера пустот относительно диаметра шарикового вывода при различной геометрии контактных площадок.

Для текущего контроля процесса используйте площадь >35% с пороговым значением диаметра пустот >50%. Для отбраковки с отправкой на ремонт в качестве критерия используйте площадь >45% с пороговым значением диаметра пустот >65%.

Применение рентгеновской технологии требует некоторых предосторожностей для исключения избыточного воздействия излучения на чувствительные материалы или компоненты, поскольку доза облучения в различных рентгеновских системах может изменяться в широких пределах. Возможно, потребуется выяснить последствия воздействия облучения на чувствительные к нему компоненты у поставщика компонентов, а дозы облучения, определенные в условиях типовых рентгеновских испытаний, обсудить с поставщиком

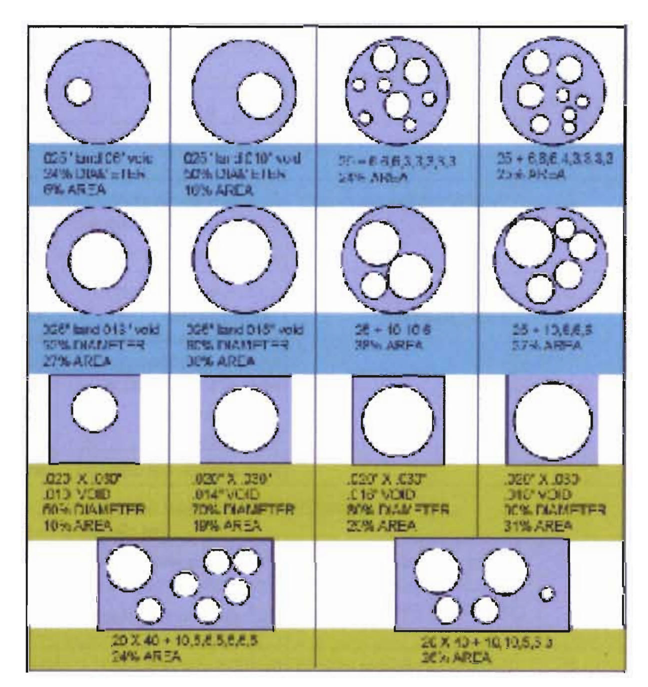


Рисунок 7-47 Примеры протоколов содержания пустот

рентгеновского оборудования.

Несмотря на то, что для идентификации пустот приводятся обширные описательные данные, не всегда можно установить их корреляцию со значимыми факторами, связанными с ресурсом стойкости соединения при термоциклировании. Кроме того, в настоящее время отсутствуют данные, определяющие влияние ремонта на долговечность изделия при термоциклировании.

Нормальное процентное содержание пустот составляет 15 ± 10% от площади проекции.

Примечание: содержание пустот ~30% является основанием для корректировки технологического процесса. Содержание пустот > 50% является основанием для отправки на ремонт (см. раздел 7.5.)

В таблице 7-10 приводятся значения процентного содержания пустот для различного диаметра шариковых выводов; в этом примере диаметр пустот принят равным 0.20 мм. Определяемое процентное отношение по диаметру пустот возрастает по мере уменьшения размера паяного соединения; будучи равным 27% для соединения размером 0.75 мм, оно повышается до 67% для паяного соединения размером 0.30 мм.

Таблица 7-10 Относительные размеры пустот в шариковых выводах с различными диаметрами

Диаметр шарикового вывода/ рентгеновское изображение	Диаметр пустот 0.20 мм	
	% по диаметру	% по площади
0.85 мм	24%	6%
0.75 мм	27%	7%
0.65 мм	31%	9%
0.55 мм	36%	13%
0.45 мм	44%	20%
0.40 мм	50%	25%
0.30 мм	67%	44%

Пригодность изделия определяется в соответствии с требованиями надежности. Например, максимально допустимый размер пустот можно принять равным 31% от диаметра шарикового вывода (это эквивалентно 9% общей площади соединения). Это может быть одна пустота или совокупность нескольких пустот. Некоторые виды рентгеновского оборудования используют алгоритмы подсчета объема пустот. К сожалению, существующие алгоритмы рентгеновской томографии не проводят суммирование объемов пустот.

В случае единичной пустоты система рентгеновской томографии может идентифицировать дефект, если величина пустоты больше заданного значения.

Пример: Если диаметр шарикового вывода 0,75 мм, а максимально допустимый диаметр пустоты составляет 30% от диаметра вывода, то максимальный диаметр пустоты в центре шарика рассчитывается следующим образом:

30% от 0,75 мм

(0,75 мм)(0,3) = 0,225 мм – максимальный диаметр пустоты

Если пустота находится не в центре шарика, а рядом с контактной площадкой платы или подложки компонента, диаметр поперечного сечения шарика в этом месте будет меньше, соответственно должен быть уменьшен и максимально допустимый диаметр пустоты.

Пример: Если диаметр шарика у контактной площадки примерно равен диаметру контактной площадки, а диаметр площадки составляет 75% от диаметра шарика (меньше на 25%), тогда:

75% от 0,75 мм = 0,56 мм – диаметр вывода на площадке

30% от 0,56 мм = максимальный диаметр пустоты

(0,56 мм)(0,3) = 0,17 мм максимальный диаметр пустоты

Приведенный критерий допустимого размера и количества предназначен для отбраковки изделий с пустотами и для индикации выхода технологического процесса из-под контроля и необходимости принятия специальных мер по улучшению процесса и материалов. Также важен размер пустоты, как показано в таблицах 7-7, 7-8, 7-9 и на рисунке 7-48. Критерии, определяющие характеристики допустимости пустот, основываются на их размере.

Если на контактные площадки устанавливается компонент с осаживающимися шариковыми выводами, шарик вместо сферической формы принимает форму эллипса. Поэтому, диаметр паяного соединения в центре шарика обычно больше, чем диаметр на границе шарика и контактной площадки. Применение критерия к шарикам и площадкам различных размеров приведет к соответствующему изменению предельно допустимых размеров пустот.

7.5.1.11 Планирование выборочной проверки для оценки пустот Из-за проблем, связанных с возникновением пустот, в данном стандарте делается попытка определить критерии для контроля технологического процесса. Все согласны с тем, что не имеет смысла отбраковывать или ремонтировать годное изделие, в котором найдена пустота, если нет точных данных о ее влиянии на надежность соединения в реальных условиях.

Показатели возникновения пустот не основаны на 100% проверке, а вычисляются после выполнения выборочной проверки.

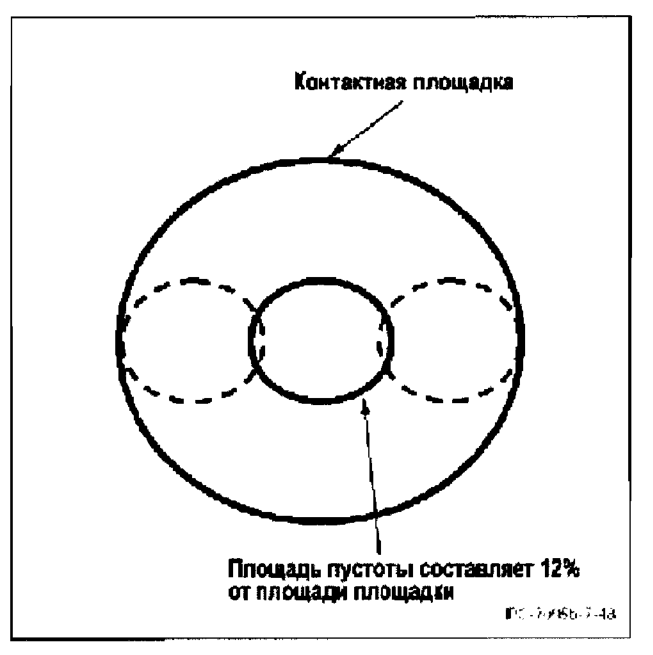


Рисунок 7-48 Диаметр пустоты относительно размера контактной площадки

Условия выборочной проверки идентичны приведенным в стандарте IPC-6012 и повторяются в таблице 7-11. Необходимо заметить, что данные таблицы приведены с учетом C=0. Как и во всех стандартах, это означает, что для выбранного образца любое превышение значения размера пустот, указанного в таблице 7-9, означает необходимость 100% проверки всей партии.

Реакция на обнаружение пустоты может изменяться в зависимости от класса изделия и требований заказчика. Самой крайней мерой является снятие и замена неисправного компонента, однако такое решение должно быть продуманным, т.к. изделие должно быть спроектировано с учетом проведения ремонта и повторной оценки.

После того, как протоколом содержания пустот было задано допустимое процентное значение, необходимо выполнить случайную выборку продукции и оценить ее соответствие условиям, указанным в протоколе. Объем выборки зависит от объема выпускаемой продукции. Следует также учесть количество корпусов BGA, являющихся частью конкретного сборочного узла.

Значение индекса 2.5 дает хорошее представление о воспроизводимости процесса относительно сборки BGA и возникновения пустот. Индекс 2.5 уровня А можно применять для оценки коммерческой продукции, предназначенной для использования в потребительских товарах и компьютерных системах. Он подходит также и для телекоммуникационного оборудования. Для оборудования класса 2, где требуется высокая эффективность и длительный срок службы, и для которого непрерывность эксплуатации является желательной, но не обязательной, и допускаются некоторые изъяны по внешнему виду, следует использовать индикатор индекса 1.5.

Таблица 7-11 План выборочной проверки C=0 (объем выборки с индивидуальным значением индекса*)

Объем партии	Класс 1			Класс 2			Класс 3			
	2.5*	4.0*	6.5*	1.5*	2.5*	4.0*	0.10*	1.0*	2.5*	4.0*
1-8	5	3	2	**	5	3	**	**	5	3
9-15	5	3	2	8	5	3	**	13	5	3
16-25	5	3	3	8	5	3	**	13	5	3
26-50	5	5	5	8	5	5	**	13	5	5
51-90	7	6	5	8	7	6	**	13	7	6
91-150	11	7	6	12	11	7	125	13	11	7
151 -280	13	10	7	19	13	10	125	20	13	10
281 -500	16	11	9	281	16	11	125	29	16	11
501-1200	19	15	1-1	27	19	15	125	34	19	15
1201-3200	23	18	13	35	23	18	125	42	23	18
3201-10,000	29	22	15	38	29	22	192	50	29	22
10,001-35,000	35	29	15	46	35	29	294	60	35	29

* Значение индекса связано со значением A.Q.L (допустимый уровень качества). Если конкретное изделие отмечено пользователем как «особо важное», и требуется использование меньшего значения индекса, пользователь обязан определить требование в договоре на поставку и указать «особо важное» требование на главном чертеже.
** Означает проверку всей партии.

Класс 3 объединяет электронные приборы высокой надежности, к которым относится коммерческая и военная продукция, для которой критическими факторами являются непрерывность работы или постоянная готовность к эксплуатации. Затраты времени на ремонт оборудования не допускаются - оно должно выполнять свои функции в соответствии с требованиями, предъявляемыми, например, к системам жизнеобеспечения или ответственным системам вооружений. Печатные сборки, содержащие BGA и относящиеся к этому классу пригодны для применения в областях, где требуется высокий уровень гарантий работоспособности; поэтому при оценке необходимо осуществлять выборку при значении индекса 1.0.

Значение индекса имеет смысл вероятности; несмотря на то, что выборка может полностью удовлетворять требованиям, определенным в протоколе содержания пустот, сохраняется статистическая вероятность того, что часть продукции не будет удовлетворять заданным условиям, и индекс выражает ее процентное содержание. Индекс 1.0 для уровня C требует проверки 13 образцов из партии, состоящей из 125 сборок. Даже если все образцы удовлетворяют требованиям протокола, сохраняется вероятность того, что 1.0% от партии не соответствует кондициям. Это относится менее чем к 2-м сборкам, что во многих случаях является оправданным риском.

7.5.2 Образование перемычек Образование перемычек между контактами не допускается. Для обнаружения перемычек необходимо провести электрическое тестирование, оптическую инспекцию или рентгенографическое исследование. Типичными причинами образования перемычек являются некачественное нанесение паяльной пасты, неточная установка, ручная «корректировка» после установки и разбрызгивание припоя во время пайки оплавлением. Также образование перемычек могут вызвать слишком большие шарики припоя.

7.5.3 Обрывы Обрывы паяных соединений также не допускаются. Для обнаружения обрывов можно использовать электрическое тестирование, оптическую инспекцию или рентгеновский контроль. Типичными причинами образования обрывов являются некачественное нанесение паяльной пасты, неточная установка и ручная «корректировка» после установки. Недостаточная компланарность и паяемость подложки также могут стать причиной обрывов. К образованию трещин и обрывов паяных соединений может привести и избыточное механическое напряжение.

7.5.4 Холодные пайки В процессе пайки оплавлением температура должна достигать достаточно высокого значения для полного расплавления припоя и правильного смачивания контактных площадок. Холодная пайка может снизить механическую целостность паяного соединения и вызвать повреждение электрической цепи или периодическое пропадание контакта. Оптическая инспекция является лучшим способом проверки наличия холодных паек.

7.5.5 Взаимосвязь дефектов и совершенствование техпроцесса Результаты контроля имеют большое значение для настройки производственного процесса на максимальный уровень качества и производительности. Производственный процесс оставляет на каждом компоненте набор признаков (своеобразная «подпись» процесса), который можно прочесть во время контроля; по этому набору признаков определяется годность или негодность компонента. «Подпись» технологического процесса можно прочесть с использованием методов и инструментов контроля, описанных выше.

Визуальная проверка компонента BGA является первым шагом на пути обнаружения многих дефектов. Оператор может провести осмотр краев корпуса BGA со всех четырех сторон. Зазор между корпусом BGA и печатной платой должен быть равномерным, а шариковые выводы – одинаковыми по форме.

Для непосредственного осмотра паяных соединений под корпусом BGA необходимо использовать рентген или оптическую систему. Эти методы можно использовать для проверки наличия явных дефектов, таких как перемычки и пропущенные шариковые выводы. Они также полезны для определения характеристик процесса пайки BGA. При контроле шариковых выводов BGA необходимо проверить однородность их размеров и формы. При отсутствие индикаторов смачивания все выводы корпуса должны иметь шарообразную форму и одинаковый размер. Шариковые выводы корпуса PBGA диаметром 0,75 мм после пайки оплавлением увеличатся до 0,90 мм в диаметре; увеличение составляет 36%. Разница размеров шариковых выводов

от центра к краям корпуса в диапазоне 10-15% является допустимой, но большая разность служит индикатором проблем в процессе пайки.

Для проверки границы между шариковым выводом и контактной площадкой платы удобно использовать рентгенографическое исследование. Изменением угла просвечивания площадку можно сместить так, чтобы она не загораживала остальную часть шарикового вывода. Это позволит оператору проверить форму паяного соединения, сформированного на площадке, степень контакта площадки с шариком и степень покрытия припоем всей поверхности.

Для измерения количественных параметров паяного соединения по рентгеновскому снимку можно использовать специальное программное обеспечение анализа изображения. Такое ПО является полезным, но не обязательным для проверки компонентов BGA. Преимуществом программного обеспечения является возможность идентифицировать и отображать едва различимые отличия в размерах и форме паяного соединения, которые трудно обнаружить визуально. Эти небольшие отклонения являются «подписью» производственного процесса, и могут использоваться для контроля процесса и устранения недостатков. Можно найти соотношение между комбинациями параметров («подписями») и известными дефектами.

7.5.6 Недостаточный / неравномерный нагрев Недостаточный или неравномерный нагрев компонента BGA является распространенным явлением. Эта проблема часто возникает во время ремонта, но также может встречаться и в процессе работы с многослойными платами с несколькими слоями заземления и питания. Неправильный нагрев может возникать и при работе с двухсторонними платами, если на обратной стороне платы рядом с корпусом BGA установлены экранированные компоненты. В этом случае проблема возникает из-за того, что материал с высокой теплопроводностью отводит тепло от компонента BGA до полного оплавления припоя. Признаком этого дефекта на рентгеновском изображении является изменение размера шариковых выводов в различных местах под корпусом.

Недостаточный нагрев, как правило, проявляется на рентгеновском изображении в виде небольших частично оплавленных шариковых выводов в центре или с одной стороны корпуса. Недостаточный нагрев может характеризоваться зубчатостью по периметру этих шариковых выводов, показывающей, что припой был частично оплавлен, но пайка проводилась недостаточно долго для полного смачивания площадки и осаждения шарикового вывода. Смещение шарикового вывода относительно площадки также является индикатором неправильного нагрева. На рентгеновском изображении смещение характеризуется вытянутыми шариковыми выводами, которые могут быть ориентированы одинаково или по-разному.

Рентгеновский контроль под углом 45° полезен для обнаружения признаков недостаточного нагревания или смачивания. Припой шарикового вывода должен смочить всю площадь контактной площадки, превращая вывод в столбик плавной формы. Признаками недостаточного нагрева являются недостаточное смачивание припоем контактной площадки и сужение паяного соединения, показывающее, что шариковый вывод и паяльная паста не слились до формирования единого паяного соединения (см. рисунки 7-49 и 7-50).

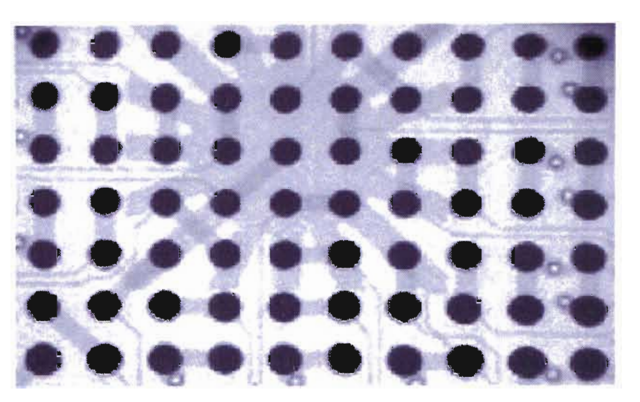


Рисунок 7-49 Рентгеновское изображение, показывающее неравномерный нагрев

Обратите внимание, что шариковые выводы внизу больше, чем вверху

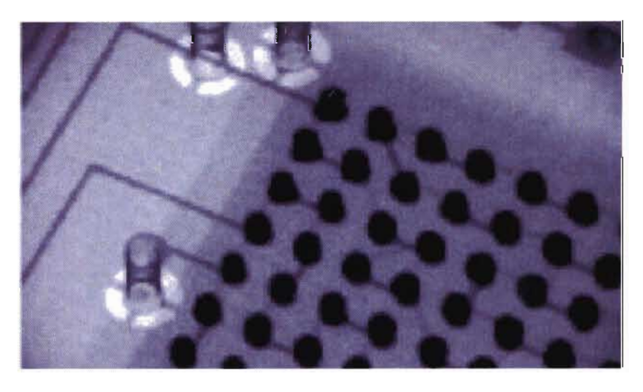


Рисунок 7-50 Рентгеновское изображение под углом 45°, показывающее недостаточный нагрев одного из углов BGA

Обратите внимание на неправильную форму паяных соединений вверху изображения

7.5.7 Дефекты компонентов Дефекты компонентов, такие как вспучивание (эффект попкорна) и искривление, обычно вызваны неправильным обращением с компонентом BGA перед пайкой. Обе проблемы формируют характерные признаки на рентгеновском изображении. Вспучивание означает увеличение размера корпуса BGA под кристаллом; в результате шариковые выводы в центре корпуса увеличиваются в размерах (возможно возникновение перемычек) из-за осаждения их между корпусом и платой (см. рисунок 7-51).

На рентгеновском снимке деформированного корпуса BGA изображения паяных соединений, расположенных по углам корпуса и подверженных деформации, имеют тенденцию к удлинению. На рисунке 7-52a показан рентгеновский снимок, а на рисунке 7-52b - электронно-микроскопическое изображение одного и того же корпуса. Обратите внимание на волнистость подложки, которая видна на рисунке 7-52b, которая характерна для релаксации напряжений, происходящей во время оплавления.

Искривление корпуса BGA является менее различимым дефектом, чем вспучивание, его трудно обнаружить даже на рентгеновском снимке (см. рисунок 7-52). Самая большая степень искривления обычно бывает в углах корпуса.

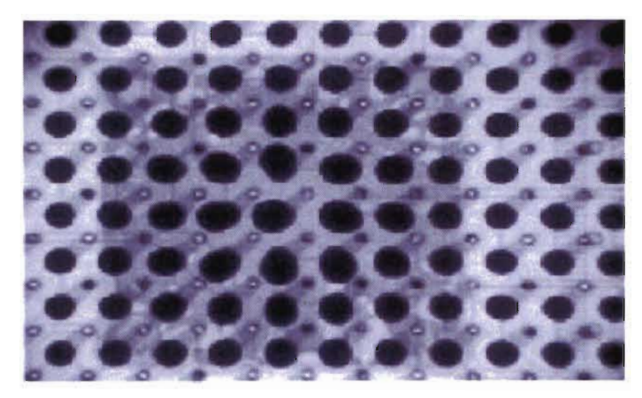


Рисунок 7-51 Рентгеновское изображение вспучивания

Шариковые выводы в центре корпуса увеличены, но образования перемычек не произошло.

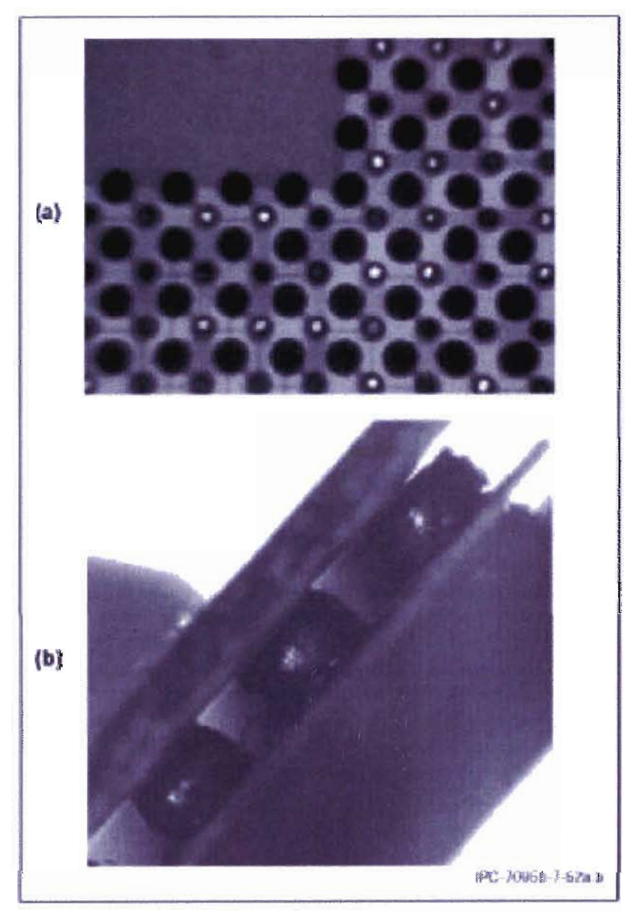


Рисунок 7-52 Рентгеновское изображение деформации BGA

В нижнем левом углу изображения (a) видно искажение шариковых выводов, выраженное растянутыми соединениями. В том же месте через микроскоп (b) видна деформация и отрыв шарикового вывода от корпуса.

7.6 Ремонт

7.6.1 Подход к ремонту Компоненты BGA нетребовательны к точности установки. Благодаря возможности самоцентрирования компоненты можно устанавливать на контактные площадки со смещением до 50%, во время оплавления корпус самостоятельно примет правильное положение. Контроль производственного процесса и соответствующее оборудование позволяют свести необходимость ремонта к минимуму.

На рынке существует множество ремонтных систем, большинство из которых используют для установки специальную призму, обеспечивающую просмотр контактных площадок на плате с наложенным на него изображением шариковых выводов. Большинство систем также позволяют проводить предварительный нагрев платы и сохранять профили пайки для множества различных мест установки компонентов. В этом разделе основное внимание будет уделено условиям успешного выполнения ремонта BGA.

Во время ремонта BGA решаются три основных задачи: снятие компонента, установка компонента и его пайка. Они рассмотрены в следующих разделах.

7.6.2 Снятие компонента BGA с платы Во время снятия компонента BGA необходимо решить, будет ли компонент ремонтироваться или будет отбракован. Особое внимание следует уделять BGA, подвергаемым реболлингу, для повторного использования (например, использовать максимальное количество циклов оплавления, рекомендованное поставщиком компонентов. Обычно рекомендуется не более 3-х циклов пайки, поэтому в ходе реболлинга и повторной установки это значение будет обязательно превышено). Корпуса с восстановленными выводами всегда превышают указанный предел. Многие OEM-производители не разрешают реболлинг BGA или повторное использование любого компонента. Поэтому перед началом работ этот вопрос необходимо согласовать с заказчиком.

Если компонент в пластиковом корпусе будет использован заново, его следует просушить. Такие корпуса негерметичны и поглощают влагу, если пребывали во влажной среде дольше, чем допускается по J-STD-020. В процессе сушки жидкости удаляются, что необходимо для предотвращения эффекта «вспучивания», возникающего из-за испарения влаги внутри компонента во время пайки и являющегося причиной разрушения корпуса. Перед снятием компонента необходимо учитывать еще одно обстоятельство. Если используется горячий воздух, и скорость роста температуры превышает 4°C в секунду, может понадобиться экранирование компонентов, окружающих BGA, для защиты от теплового удара и повторного оплавления. В качестве экрана можно использовать полиимидную ленту или растворимую в воде маску, которая обычно используется для пайки волной припоя. На рисунке 7-53 приведен пример использования экрана из каптоновой ленты для предотвращения повреждения соседних компонентов при использовании горячего воздуха для ремонта BGA.

В случае использования бессвинцовой технологии рекомендуется свести до минимума разность температур между нижней и верхней стороной платы при разработке профиля демонтажа и повторной установки BGA. При настройке профиля температура нижней стороны платы должна быть увеличена для того, чтобы уменьшить количество тепла, подаваемого через насадку с горячим воздухом сверху. Этот прием позволяет свести до минимума риск расслоения открытого участка платы и уменьшить теплопередачу к соседним компонентам.

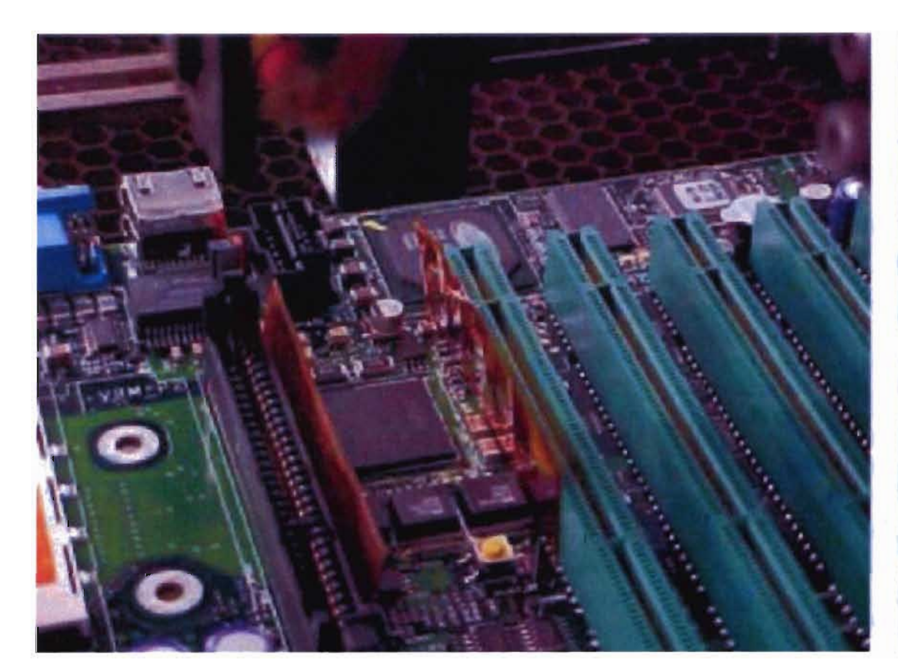
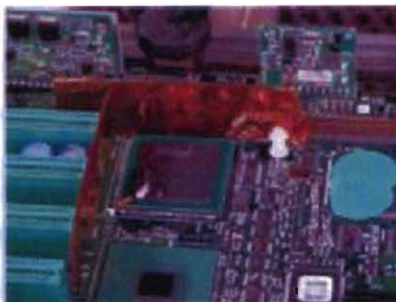
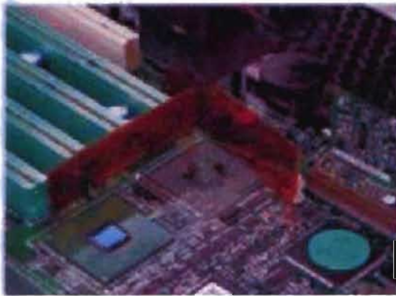




Рисунок 7-53 Примеры экранирования BGA и платы

7.6.3 Замена компонента BGA

7.6.3.1 Подготовка места установки После снятия корпуса BGA с платы необходимо удалить припой с контактных площадок. Для очистки контактных площадок применяются паяльники с отсосом или медная оплетка. Во время использования одного из этих средств необходимо соблюдать осторожность, т.к. контактная площадка может отслоиться при избыточном воздействии тепла или давления. Все контактные площадки должны быть идеально ровными и чистыми для установки нового корпуса BGA. С учетом использования повышенных температур для бессвинцовых сплавов важно свести до минимума контакт с паяльной маской перемычек между площадками и переходами (конструкция dog bone). Высокие температуры увеличивают вероятность повреждения этой паяльной маски. Кроме того, этому может способствовать финишное покрытие платы. На адгезию паяльной маски к площадкам могут повлиять два фактора: длина перемычки в паяльной маске (рекомендуется применять перекрытые переходы) и финишное покрытие печатных плат.

7.6.3.2 Нанесение флюса Несмотря на то, что маска наносится на площадку переходного отверстия поверх обнаженной меди, адгезия может ухудшиться при воздействии на поверхность реактивов, используемых при создании финишного покрытия.

Флюс наносится двумя различными способами: в пастообразном виде или в составе паяльной пасты; пастообразный флюс можно применять только для пайки шариковых выводов BGA, изготовленных из эвтектического сплава). Кроме того, в некоторых случаях необходима добавка к паяльной пасте для обеспечения прочности паяного соединения. При использовании пастообразного флюса (называемого также "клейким" флюсом) необходимо убедиться, что шариковые выводы изготовлены из сплава Sn63/Pb37 (эвтектика). Во многих керамических корпусах BGA используются шариковые выводы из припоя Pb90/Sn10, которые плавятся при температуре 302°C. Если шариковые выводы выполнены не из сплава Sn63/Pb37, необходимо использовать паяльную пасту. Если шариковые выводы выполнены из сплава Sn63/Pb37, то для повторной установки BGA обычно используется жидкий или пастообразный флюс, особенно для корпусов, имеющих менее 208 выводов. Он просто наносится на контактные площадки, а корпус BGA устанавливается на них сверху. Одним из недостатков данного метода является проблема компланарности. Если контактные площадки не совсем ровные, некоторые шарики могут не прикоснуться к площадке. Нанесение избыточного количества флюса может также вызвать замыкание между шариковыми выводами. В случае бессвинцовой технологии для большинства типов BGA используется сплав SAC, который оплавляется в паяное соединение. Вместе с тем для бессвинцовых BGA можно использовать паяльную пасту, что позволяет понизить содержание пустот в паяных соединениях BGA.

7.6.3.3 Нанесение пасты Нанесение пасты – предпочтительный метод, но требующий дополнительного времени ремонта, а также применения дорогостоящего оборудования. Паста наносится локально с использованием мини-трафарета. При заказе миниатюрных трафаретов для керамических корпусов необходимо указывать ту же апертуру/толщину, которые использовались при первоначальном монтаже. Это обеспечит надежность использования керамических корпусов в качестве восстановленных компонентов. Такие трафареты можно приобрести у различных поставщиков или изготовить на заказ под конкретные контактные площадки. Во время нанесения пасты на контактные площадки необходимо использовать приспособление или ленту для закрепления трафарета.

При использовании описанного метода следует заранее продумать приемы работы с пастой и способы очистки трафарета. Паяльную пасту также можно наносить на BGA при помощи шприца или дозирующей рамки с соответствующим инструментом. Необходимо строго контролировать количество наносимой паяльной пасты. При нанесении паяльной пасты для CSP на печатной плате может оказаться недостаточно места для размещения минитрафаретов. В этой ситуации обычно наносят пасту на корпус (на нижнюю сторону шариков) и затем помещают модуль на плату для замены.

7.6.3.4 Проблемы при проведении ремонта Расстояние между компонентами на плате постоянно уменьшается. Даже если в некоторых компаниях и существуют нормативы свободного места между корпусами, изготовители плат хорошо знают, что они не всегда выполняются. Поэтому использование мини-трафаретов для нанесения паяльной пасты становится затруднительным. Также необходимость использования мини-трафарета для деталей каждого размера и типа не только замедляет ремонт, но и делает его дорогостоящим.

Постоянно уменьшающееся расстояние между корпусами приводит не только к проблемам с применением мини-трафарета. Использование отдельных насадок нагрева горячим воздухом для каждого размера и типа снимаемой детали также увеличивает стоимость и сложность ремонта. Кроме того, резко возрастает риск оплавления паяных соединений соседних компонентов. Помимо увеличения из-за лишнего оплавления толщины интерметаллического слоя, который ослабляет паяное соединение, перед проведением ремонта платы необходимо подвергнуть сушке, увеличив продолжительность ремонта.

Продолжительность ремонта является очень важным параметром. К сожалению, снятие и замена корпуса BGA и некоторых больших компонентов может занимать как минимум 20 минут.

Другой значительно проблемой ремонта является деформация печатной платы. Деформация частично образуется из-за сильного местного нагрева в течение довольно продолжительного времени, необходимого для снятия компонента.

Для ремонта BGA в настоящее время используются две технологии: горячий воздух и лазер. Нагрев горячим воздухом более распространен. Новым методом снятия и замены компонентов поверхностного монтажа, включая BGA и CSP, является применение лазера.

Многократный ремонт на одном и том же месте установки BGA может привести к образованию на печатной плате трещин в металлизированных отверстиях. Необходимо принимать во внимание материалы, из которых изготовлена плата и количество циклов нагрева, которое они могут выдерживать.

7.6.3.5 Системы нагрева горячим воздухом для ремонта BGA Существуют полностью ручные или полуавтоматические системы нагрева горячим воздухом. Горячий воздух подается к ремонтируемой детали при помощи насадки. Деталь снимается с платы после плавления припоя на всех соединениях. Насадка для подачи горячего воздуха обычно разрабатывается специально для конкретного компонента. Корпус нагревается непосредственно за счет горячего воздуха и за счет теплопередачи внутри корпуса. Для предварительного нагрева корпуса насадка располагается на некотором расстоянии (обычно 25 мм или больше) от него. Затем насадка опускается непосредственно над корпусом, и температура выводов резко возрастает до максимальной. В процессе подачи горячего воздуха паяные соединения соседних компонентов, даже отстоящих на 12 мм, могут подвергнуться оплавлению, что приведет к нежелательным последствиям. Из-за высокой скорости струи воздуха малые компоненты, такие как CSP, могут сместиться во время перепайки.

После снятия компонента нанесение пасты для установки – наиболее сложный и продолжительный процесс. Однако нанесение флюса без припоя (в виде жидкости или пасты) применяется только при установке BGA с эвтектическими выводами. В некоторых случаях для обеспечения прочности соединения требуется добавление припоя. Обычно для нанесения пасты используется минитрафарет или дозирующая система. Для каждой заменяемой детали требуются насадки или минитрафарет конкретного типа и размера. Для нанесения пасты любым из указанных способов необходимо свободное место между компонентами. Усиленный конвективный нагрев нижней стороны платы позволит понизить температуру насадки с горячим воздухом, необходимую для получения приемлемого профиля бессвинцовой пайки. При использовании обычных оловянно-свинцовых припоев нижнюю сторону предварительно нагревают до 100°C. В случае использования бессвинцовых сплавов эту температуру необходимо повысить как минимум до 130°C.

7.6.3.6 Лазерные системы для ремонта BGA В лазерных системах используется от одного до четырех полупроводниковых лазеров. Некоторые лазерные системы используются только для ремонта компонентов с периметрическим расположением выводов, которые находятся на линии прямой видимости. Однако существуют и другие лазерные системы, в которых используется несколько диодных лазеров, и которые предназначены для ремонта как корпусов с периметрическими выводами, так и с матричным расположением выводов (BGA, CSP и flip chip) путем быстрого сканирования верхней поверхности корпуса. Это приводит к оплавлению шариковых выводов из-за передачи тепла через корпус компонента, как и в случае с горячим воздухом. Чтобы избежать перегрева, некоторые из этих лазерных систем также оснащены встроенной подсистемой теплового контроля, предназначенной для отображения и управления температурой корпуса в определенных пределах. Существуют лазерные системы с возможностью нанесения пасты и установки компонентов или без них.

Из-за того, что лазерный пучок очень узкий, компоненты, даже расположенные на расстоянии 1 мм, не нагреваются. Лазерные системы предназначены для нагрева корпуса без оплавления припоя на соседних компонентах.

7.6.3.7 Температурный профиль При использовании лазера или горячего воздуха температурный профиль пайки корпусов BGA во время ремонта совпадает с профилем конвекционной печи. Предварительный нагрев платы до 100°C перед циклом снятия или замены должен быть достаточным для сведения деформации платы к минимуму. Требования к температурному профилю приведены в таблице 7-12 для оловянно-свинцовых паст и в таблице 7-13 для бессвинцовых. Температура предварительного нагрева не должна превышать 120°C, т.к. обычно эта температура соответствует температуре активации флюса. Если это произойдет, флюс будет активирован раньше необходимого времени, что приведет к плохой паяемости выводов во время пайки. Для бессвинцовых паяльных паст температура предварительного нагрева должна быть не менее 120°C - 130°C.

Для покрытия флюсом шарика и контактной площадки необходимо достаточно продолжительное время. Флюс необходимо выдержать при температуре от 120 до 150°C в течение 30-120 секунд. После очистки флюсом места пайки необходимо повышать температуру со скоростью от 2 до 4°C в секунду. Стандартное значение 2°C в секунду для компонентов поверхностного монтажа можно изменить, поскольку при ремонте не происходит нагрева чувствительных к теплу компонентов, таких как конденсаторы или резисторы,

Таблица 7-12 Температурные профили процесса ремонта для оловянно-свинцовой пайки

Особенности профиля	Диапазон температур	Интервал времени
Предварительный нагрев	100-150°C; не более 150°C	нет
Стабилизация или активация	100-180°C*	60-120 секунд*
Скорость нагрева компонентов	2-4°C в секунду	
Выдержка при оплавлении	Выше 183°C	от 60 до 90 секунд
Пиковая температура пайки	210-220°C	Не более 10 секунд
Максимальная температура компонентов, чувствительных к влаге	225°C	Не более 20 секунд
Максимальная температура компонентов	230°C	60 секунд
Максимальная температура смежных компонентов**	170°C	0 секунд
Температура платы	Выше 150°C	Не более четырех минут

* Уточнить у поставщика

** Смежными считаются компоненты, установленные с удалением на 5 мм

Таблица 7-13 Температурные профили процесса ремонта для бессвинцовой пайки

Особенности профиля	Диапазон температур	Интервал времени
Предварительный нагрев	от 100°C до 190°C; не более 190°C	нет
Стабилизация или активация	140-220°C*	от 60 до 150 секунд*
Скорость нагрева компонентов	от 2°C до 4°C в секунду	
Выдержка при оплавлении	Выше 220°C	от 60 до 90 секунд
Пиковая температура пайки	230-245°C	Не более 20 секунд
Максимальная температура компонентов, чувствительных к влаге	245°C	Не более 20
Максимальная температура компонентов	245°C	60 секунд
Максимальная температура смежных компонентов**	210°C	0 секунд
Температура платы	Выше 190°C	Не более четырех минут

* Уточнить у поставщика

** Смежными считаются компоненты, установленные с удалением на 5 мм

под воздействием насадки с горячим воздухом. Соседний с насадкой компонент можно изолировать полиимидной лентой или растворимой в воде маской, чтобы защитить компоненты от теплового повреждения горячим воздухом. Время выдержки при температуре пайки должно быть в диапазоне от 30 до 90 секунд с максимумом между 200°C и 220°C (для оловянно-свинцовых сплавов) и 235-245°C для бессвинцовых. Время выдержки шариков, находящихся в центре корпуса BGA, может превышать рекомендуемые 90 секунд из-за отвода тепла из места пайки. Температура платы не должна превышать 150°C в течение более 4 минут. Это требование обусловлено температурой стеклования материала FR-4, см. J-STD-020.

8 НАДЕЖНОСТЬ

Надежность – это способность изделия функционировать в заданных условиях и в течение указанного периода времени без превышения допустимого уровня отказов. Обеспечение надежности электронных систем требует принятия определенных мер во время проектирования, одновременно с проектированием других функций на стадии разработки изделия. Определение надежности формулируется в стандарте IPC-SM-785.

В начальном периоде эксплуатации на надежность влияют отказы из-за низкого качества продукции.

Количество неисправностей на начальном периоде эксплуатации, обусловленных дефектами, можно уменьшить до отгрузки заказчику при помощи соответствующих процедур контроля, но полностью исключить их невозможно. Длительные отказы являются результатом преждевременного износа, вызванного неправильной конструкцией системы. Руководство по обеспечению надежности во время разработки приведено в стандарте IPC-D-279.

Квалификационные требования надежности приводятся в стандарте IPC-9701 вместе с четко определенной методологией испытаний. Для монтажа методами бессвинцовой пайки в стандарте IPC-9701A содержатся рекомендации по ускоренным испытаниям паяных соединений; однако, из-за отсутствия практических моделей ускорения испытаний для различных бессвинцовых припоев невозможно задать требования к надежности, основанные на ускоренном термоциклировании.

8.1 Ускоренные испытания на надежность Контроль пригодности и квалификационные испытания должны соответствовать рекомендациям, данным в стандарте IPC-SM-785 «Правила проведения ускоренных испытаний на надежность паяных соединений поверхностного монтажа», и / или в стандарте IPC-9701, «Методы контроля параметров и требования надежности для паяных соединений поверхностного монтажа». Для некоторых изделий ускоренные циклы изменения температуры (АТС) необходимо комбинировать с испытаниями на удар и/или вибрацию.

Ускоренные испытания на надежность обычно проводятся на конструкторских прототипах до отказа устройства или до

достижения требуемых показателей надежности. Показатели надежности можно определить по соответствующей модели ускорения (см. IPC-D-279, «Руководство по разработке надежных печатных плат по технологии поверхностного монтажа»).

В случае возникновения неисправности анализируются природа и причины, лежащие в ее основе. Если ожидаемые показатели надежности не достигнуты, необходимо внести поправки в техпроцесс. Необходимо либо усовершенствовать процесс сборки, либо внести изменения в конструкцию изделия. В любом случае после внесения изменений необходимо провести повторные испытания.

Осознавая необходимость определения точных требований и параметров контроля надежности для различных условий, Комитет по надежности продукции IPC разработал специальную таблицу «Категории изделий и условия применения» (таблица 8-1). В этой таблице сделана попытка связать семь категорий изделий (по области применения) с тепловыми, механическими, механическими, атмосферными и электрическими параметрами, которым они должны соответствовать во время производства, хранения и эксплуатации.

8.2 Механизм повреждений и неисправности паяных соединений Надежность электронных систем зависит от надежности отдельных элементов и надежности механических, тепловых и электрических соединений между этими элементами. Уникальность паяного соединения при поверхностном монтаже заключается в том, что паяное соединение не только обеспечивают электрический контакт, но также и механическую связь электронных компонентов с

Таблица 8-1 Ускоренные испытания в реальных условиях эксплуатации

Наихудшие условия эксплуатации								Ускоренные испытания			
Области применения	Т мин °С	Т макс °С	ΔT[1] °C	t_D часов	Циклов / год	Типичн. срок службы	Допустимый процент отказов, (приблизительно, %)	Тмин °С	Тмакс °С	ΔT(2) °C	t_D мин.
1) Бытовая техника	0	+60	35	12	365	1-3	1	+25	+100	75	15
2) Компьютеры	+15	+60	20	2	1460	5	0,1	+25	+100	75	15
3) Телекоммуникации	-40	+85	35	12	365	7-20	0,01	0	+100	100	15
4) Коммерческая авиация	-55	+95	20	12	365	20	0,001	0	+100	100	15
5) Производство и автомобильная техника (в салоне)	-55	+95	20 &40 &60 &80	12 12 12 12	185 100 60 20	10	0,1	0	+100	100	15
									& ХОЛОДНЫЙ ЦИКЛ [3]		
6) Военная техника, наземная и морская	-55	+95	40 &60	12 12	100 265	10	0,1	0	+100	100	15
									& ХОЛОДНЫЙ ЦИКЛ[3]		
7) Космическая техника околоземная геостационарная	-55	+95	3 до 100	1 12	8760 365	5-30	0,001	0	+100	100	15
									& ХОЛОДНЫЙ ЦИКЛ[3]		
8) Военная авионика a b c	-55	+95	40 60 80 &20	2 2 2 1	365 365 365 365	10	0,01	0	+100	100	15
									& ХОЛОДНЫЙ ЦИКЛ[3]		
9) Автомобильная техника (под капотом)	-55	+125	60 &100 &140	1 1 2	1000 300 40	5	0,1	0	+100	100	15
									& ХОЛОДНЫЙ ЦИКЛ[3] & БОЛЬШОЙ ΔT[4]		

& = дополнительно

[1] Параметр ΔT представляет собой амплитуду циклических колебаний температуры, но не включает рассеивание мощности; для определения рассеиваемой мощности вычислите ΔT; рассеиваемая мощность может значительно уменьшить точность результатов ускоренных испытаний воздействием циклических колебаний температуры. Необходимо учитывать, что диапазон циклических колебаний температур ΔT – это не разность между возможным минимумом Tmin и максимумом Tmax рабочих температур; ΔT обычно значительно меньше.

[2] Во время проведения ускоренных испытаний температура должна изменяться с определенной скоростью, 20°С/мин, а время выдержки в условиях предельных значений температур должно быть равно 15 минутам. Это даст ~ 24 цикла испытаний в день.

[3] Механизм возникновения дефектов в припое изменяется при низкой температуре; для систем, которые должны эксплуатироваться в условиях холода, рекомендуется выполнять дополнительный «холодный» цикл испытаний в диапазоне температур от -40 до 0°С с достаточным для установления теплового равновесия временем выдержки и с числом циклов, равным числу «холодных» циклов реальной эксплуатации.

[4] Механизм возникновения дефектов в припое отличается в условиях больших циклических колебаний температуры в диапазоне сжатия-растяжения от -20 до +20°С; системы, которые планируется эксплуатировать в таких условиях, рекомендуется подвергать дополнительным испытаниям с большой величиной ΔT в условиях и в объеме, подобным реальной эксплуатации.

печатной платой, и часто служит для выполнения важнейшей функции теплопередачи. Само по себе паяное соединение не является ни надежным, ни ненадежным; оно становится таковым только в контексте соединения электронных компонентов с печатной платой.

Характеристики трех элементов - компонент, печатная плата и паяное соединение - вместе с условиями эксплуатации, расчетным сроком службы и допустимой вероятностью отказа электронной системы определяют надежность паяного соединения поверхностного монтажа.

Общие характеристики большинства бессвинцовых припоев по сравнению с оловянно-свинцовыми имеют следующие отличия: (1) значительно более высокую жесткость сплава, (2) существенно меньшая скорость ползучести, (3) трудности обеспечения надлежащей кроющей способности, и (4) значительно более высокие температуры пайки.

Следствием повышенной жесткости или меньшей пластичности и замедленной ползучести являются повышенные напряжения в структуре соединения в целом, возникающие при изменении температуры и вызывающие деформацию либо изгиб печатной платы/компонентов из-за рассогласования коэффициентов температурного расширения. Повышенные напряжения в сочетании с менее прочной связью паяных соединений с материалом основы из-за плохого смачивания или слабых мест в межфазных структурах может вызвать хрупкое разрушение по межфазной поверхности.

8.2.1 Сравнение механизма роста термоусталостных трещин в паяных соединениях BGA на основе сплава SAC и оловянно-свинцовых припоев

При испытаниях на термическую усталость, в частности, при термоциклировании, в эвтектических оловянно-свинцовых паяных соединениях BGA развивается механизм разрушения, отличающийся от характерного для сплава SAC. Микроструктура эвтектического оловянно-свинцового припоя является многозеренной, в результате чего каждое соединение BGA состоит из множества отдельных кристаллических зерен, обогащенных свинцом (темная фаза) и оловом (фазы светлого оттенка, показанных на рисунке 8-1. В противоположность этому, каждое паяное соединение SAC содержит очень мало зерен олова. Эти зерна можно наблюдать в поляризованном свете. На рисунке 8-2 показано два примера паяных соединений SAC BGA. Паяное соединение, показанное на верхнем снимке, состоит из 6 зерен, а показанное на нижнем целиком состоит из единственного зерна.

При термоциклировании эвтектических оловянно-свинцовых соединений BGA наблюдается укрупнение зерен в области паяного соединения, в которой из-за несовпадения теплового расширения накапливаются напряжения. Эти зерна мягче возникших при затвердевании припоя и стимулируют распространение трещин. Это явление показано на рисунке 8-3.

В бессвинцовых паяных соединениях SAC BGA при термоциклировании имеет место рекристаллизация зерен в областях повышенных термомеханических напряжений. После рекристаллизации зерна имеют размер меньше первоначального и в большей степени склонны к скольжению по границам зерен, т. е. деформации ползучести. Это является причиной распространения трещин через область рекристаллизации, как показано на рисунке 8-4.

8.2.2 Пайка припоями разного типа При переходе к технологии пайки бессвинцовыми припоями иногда возникает

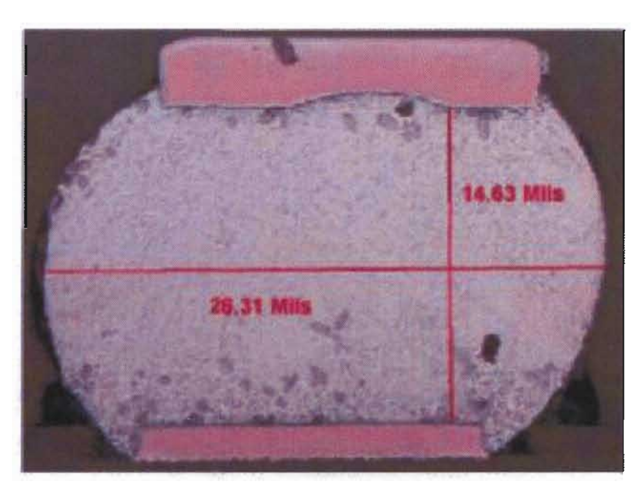


Рисунок 8-1 В паяном соединении BGA из эвтектического оловянно-свинцового сплава наблюдаются зерна, обогащенные свинцом (темная фаза) и оловом (светлая фаза)

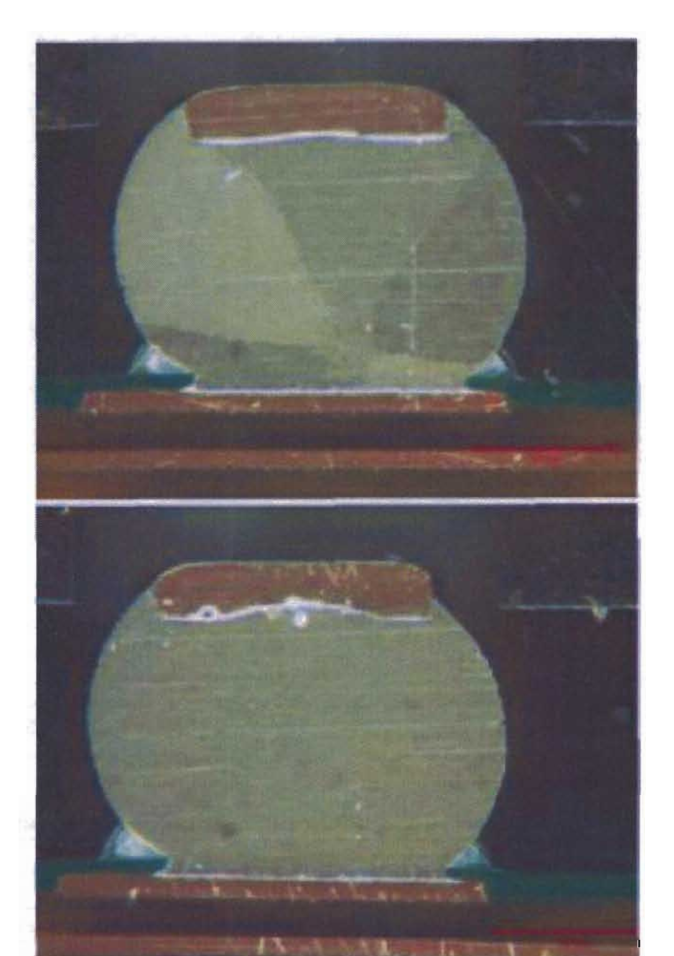


Рисунок 8-2 Паяные соединения разъема BGA из сплава SnAgCu; одно из них состоит из шести зерен (верхнее фото), а другое - из единственного зерна (нижнее фото).



Рисунок 8-3 Распространение термоусталостной трещины в эвтектических оловянно-свинцовых паяных соединениях модуля CBGA

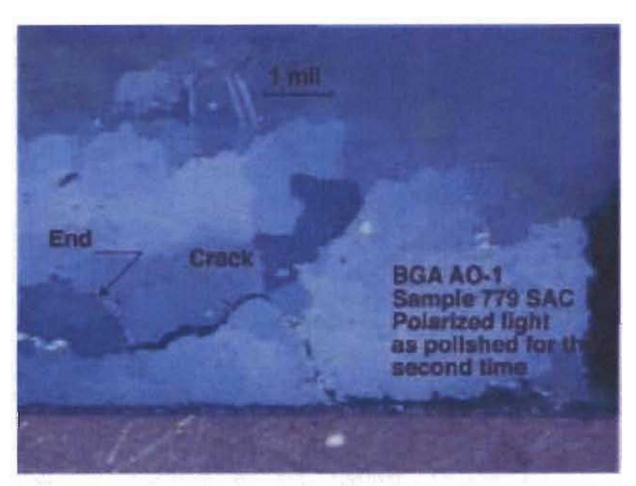


Рисунок 8-4 Распространение термоусталостной трещины в соединениях модуля CBGA, выполненных из сплава Sn-3.8Ag-0.7Cu [3]

необходимость монтажа оловянно-свинцовых и бессвинцовых BGA в одной печатной сборке, используя оловянно-свинцовый или бессвинцовый припой. Совместный монтаж BGA, имеющих вывода различного типа, нежелателен, хотя и возможен. Более вероятным вариантом является пайка бессвинцовых BGA оловянно-свинцовым припоем. Эта ситуация возникает, когда поставщик компонентов в конце срока службы (EOL) оловянно-свинцовых BGA отказывается от них в пользу бессвинцовых BGA. При столкновении с такой ситуацией имеются следующие возможности:

• Отказаться от проектирования печатной сборки

• Выполнить реболлинг BGA оловянно-свинцовыми шариковыми выводами (это приемлемо не для всех компаний)

• Убедить поставщика предоставить Sn/Pb версию компонентов

8.2.2.1 Оплавление припоя с использованием бессвинцового профиля Некоторые компании успешно выполняют пайку BGA смешанных типов и во многих случаях получают приемлемые результаты надежности. Исследования показали, что при гомогенном обогащении припоя SAC свинцом в количестве менее 20% (вес.) усталостная долговечность не уступает оловянно-свинцовым припоям. Однако будьте предусмотрительны. Выполните соответствующие испытания на надежность (исследование поперечных сечений, термоциклирование, стойкость к удару), чтобы убедиться в надежности паяных соединениях в заданных условиях эксплуатации.

Перед тем, как приступить к пайке, необходимо проанализировать совместимость всех компонентов смешанной печатной сборки (бессвинцовые BGA с оловянно-свинцовым припоем) с процессом бессвинцовой пайки. В ходе этой оценки необходимо убедиться, что все компоненты выдержат температуры бессвинцовой пайки. Несмотря на то, что оловянно-свинцовые компоненты рассчитаны на пиковую температуру 230°C, опыт показывает, что они выдерживают температуры бессвинцовой пайки, хотя и не всегда. Еще раз, будьте очень осмотрительны. Ожидаемую надежность необходимо подтвердить в ходе адекватных испытаний. Используйте таблицу 8-2 в качестве руководства по совместимости компонентов с температурами процессов бессвинцовой пайки.

8.2.2.2 BGA с низким содержанием Ag в сплаве SAC, или сплавы для шариковых выводов BGA, отличные от SAC Бессвинцовые припои, используемые для изготовления шариковых выводов BGA, обычно содержат Sn, Cu и Ag. При переходе на бессвинцовую технологию используемые сплавы обычно соответствуют составам, используемым в сборочных процессах - Sn96.5Ag3.0Cu0.5 (SAC305), Sn95.5Ag3.8Cu0.7 (SAC387) или Sn95.5Ag4.0 Cu0.5 (SAC405). Проблемы, связанные с выпадением шариков и восприимчивостью к механическим напряжениям побудили поставщиков BGA к поиску дополнительных сплавов для шариковых выводов. Для корпусов некоторых типов изменение заключается в

Таблица 8-2 Совместимость оловянно-свинцовых компонентов с процессом бессвинцовой пайки оплавлением

Тип оловянно-свинцового компонента	Совместимость
Керамические резисторы / конденсаторы	Хорошая
Опрессованные конденсаторы (танталовые)	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
Алюминиевые электролитические конденсаторы	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
Опрессованные ИС (SO, PLCC, QFP)	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
Разъемы, гнезда и т. д.	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
Кварцевые резонаторы, излучатели	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
Транзисторы, диоды	Хорошая
Светодиоды	Используйте только компоненты, совместимые с температурой процесса бессвинцовой пайки
BGA	Необходима оценка для каждого конкретного случая
Переключатели DIP	Хорошая

снижении содержания серебра (Ag) от 3-4% до 1-3%. Предлагалось также введение других элементов в сплав; однако, эти добавки могут вызывать переохлаждение припоя, образование различных интерметаллидов, изменять свойства матрицы и микроструктуру припоя. В зависимости от состава сплава точка плавления шарикового вывода может возрасти на 10°C. Это может в значительной степени повлиять на процесс сборки печатных узлов. Необходимо с большой осторожностью относиться к применению новых сплавов в конструкции BGA и к использованию этих корпусов в сборочных процессах.

8.2.2.3 Влияние на производство печатных узлов Новые бессвинцовые сплавы, используемые для изготовления шариковых выводов BGA, могут оказывать влияние на процесс оплавления печатных узлов (ПУ) из-за повышенной точки плавления. Некоторые производители компонентов получили неожиданное снижение выхода годных изделий из-за сплавов с низким содержанием Ag, потому что не были готовы к их применению. Переход к изготовлению шариков из сплавов с низким содержанием Ag может потребовать изменения заданных значений температур для оплавления ПУ. Например, повышение точки плавления для некоторых BGA на 10°C может привести к повышению температуры на других участках ПУ, превышающих предельные значения как для компонентов, так и для печатной платы.

Влияние на надежность - если компоненты с низким содержанием Ag были припаяны при пониженной температуре, это создает серьезную опасность уменьшения надежности, поскольку такие паяные соединения могут выдерживать электрические испытания, сохраняя при этом склонность к образованию дефектов (см. рисунок 8-5). Некоторые экспериментальные данные дают основания полагать, что качественно припаянные компоненты с низким содержанием Ag превосходят используемые в настоящее время сплавы SAC; однако термоусталостная надежность новых сплавов пока до конца не изучена. В состоянии исследования находятся и дополнительные критические факторы, влияющие на надежность (финишное покрытие площадок BGA и печатных плат).

8.3 Типы паяных соединений Паяное соединение не является однородным. Оно состоит из нескольких различных участков, многие из которых недостаточно изучены. В паяном соединении можно выделить несколько зон:

1. Металлическая основа на печатной плате.

2. Одно или несколько интерметаллических соединений (IMC).

3. Объем припоя.

4. Слой с обедненным содержанием составляющих припоя, ушедших на формирование интерметаллического соединения с металлом платы.

5. Один или несколько слоев интерметаллических соединений составляющих припоя с металлической основой компонента.

6. Металлическая основа компонента.

Кристаллическая структура припоя нестабильна. Поскольку комнатная температура превосходит температуру рекристаллизации эвтектического оловянно-свинцового припоя, его частицы со временем будут увеличиваться в размерах. Рост размера частиц приводит к снижению внутренней энергии мелкозернистой структуры. Процесс увеличения частиц усиливается при повышении температуры и при воздействии энергии деформации во время циклических нагрузок. Поэтому процесс увеличения частиц в определенной степени можно считать индикатором

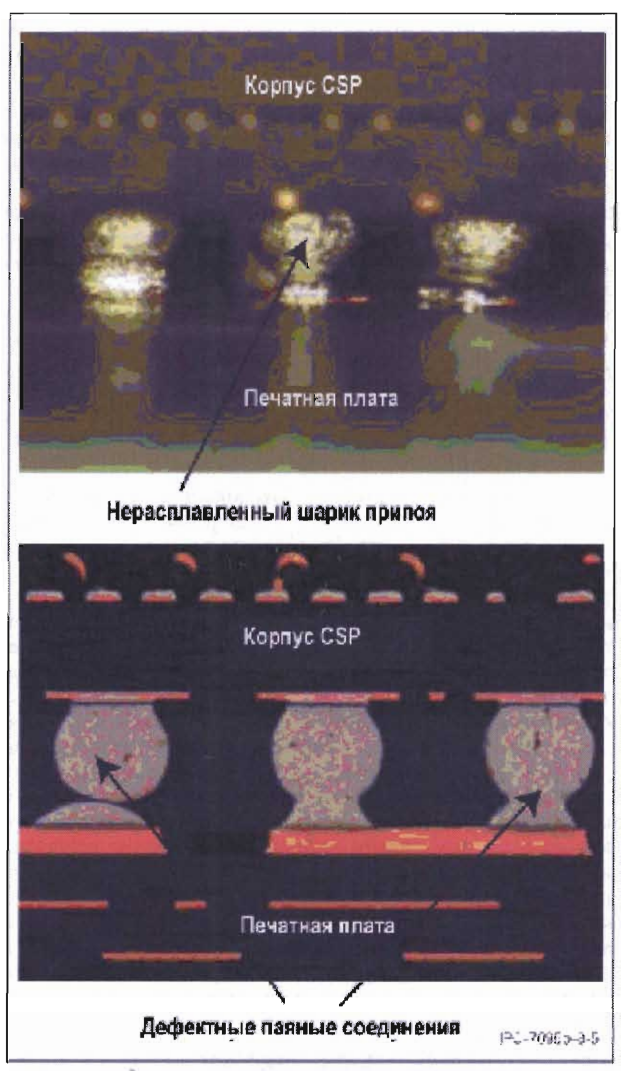


Рисунок 8-5 Неполное формирование паяного соединения при сборке шариковых выводов с содержанием 1% Ag на нижнем пределе диапазона температур типичного процесса оплавления

накопления усталостного разрушения. Эта индикация проявляется значительно больше при ускоренных испытаниях паяных соединений (и в меньшей степени выражена при циклических испытаниях) по сравнению с рабочим режимом. Такие включения, как оксиды свинца и остатки флюса, мигрируют к поверхности припоя, но преимущественно осаждаются на границах зерен. По мере роста зерен увеличивается и концентрация включений на границах, что приводит к ослаблению связей между зернами припоя. По истечении 25% наработки припоя на усталостное разрушение между частицами могут появиться микропустоты; эти микропустоты перерастают в микротрещины после ~40% наработки на усталостное разрушение; микротрещины вырастают и объединяются в большие трещины, которые приводят к общему разрушению паяного соединения.

Пайка часто используется для соединения материалов с совершенно разными свойствами, в частности, имеющими очень разные коэффициенты теплового расширения. Припой, как основной материал, часто обладает свойствами, заметно отличающимися от свойств материалов, которые он соединяет, что приводит к локальному несоответствию коэффициентов

теплового расширения. Степень опасности такого несоответствия и соответствующего снижения надежности зависит от конструкции платы и условий эксплуатации.

Бессвинцовые паяные соединения проявляют повышенную предрасположенность к образованию граничных микропустот либо из-за кратеров на поверхностном слое, из-за которых возникают пустоты, напоминающие брызги шампанского и известные, как планарные микропустоты, либо за счет дифференциальной твердофазной диффузии, ответственной за появление пустот Киркендалла, известных также, как микропустоты IMC. Высокая предрасположенность к образованию микропустот IMC связана, по крайней мере частично, с повышенными температурами пайки, необходимыми для бессвинцовых припоев. Планарные микропустоты наблюдаются на поверхности бессвинцовых финишных покрытий типа иммерсионного серебра, которое обычно оказывает более сложное воздействие на поверхность пайки, чем HASL.

8.3.1 Разница теплового расширения соединяемых компонентов Тепловое расширение электронных компонентов или выводов поверхностного монтажа и печатных плат, на которые они устанавливаются, часто бывает различным. Эта разность является следствием разностей коэффициентов теплового расширения материалов и перепадов температур, возникающих в результате рассеивания тепла в активных компонентах. Разница коэффициентов теплового расширения соединяемых компонентов и платы обычно лежит в пределах от 2 ppm/°C (1 ppm = $1x10^6$) для высоконадежных узлов с подобранными коэффициентами до ~14 ppm/°C для керамических компонентов на печатных платах, изготовленных из материала FR-4. На рисунке 8-6 показано повреждение паяного соединения из-за разности коэффициентов теплового расширения на уровне кристалла компонента CSP (chip scale package). Кремниевый кристалл, расположенный вверху, расширяется в значительно меньшей степени, чем подложка FR-4, расположенная внизу. Это является причиной возникновения сдвиговых напряжений в паяном соединении, которое в конечном счете разрушается на границе раздела кристалла и припоя под воздействием циклических колебаний температуры.

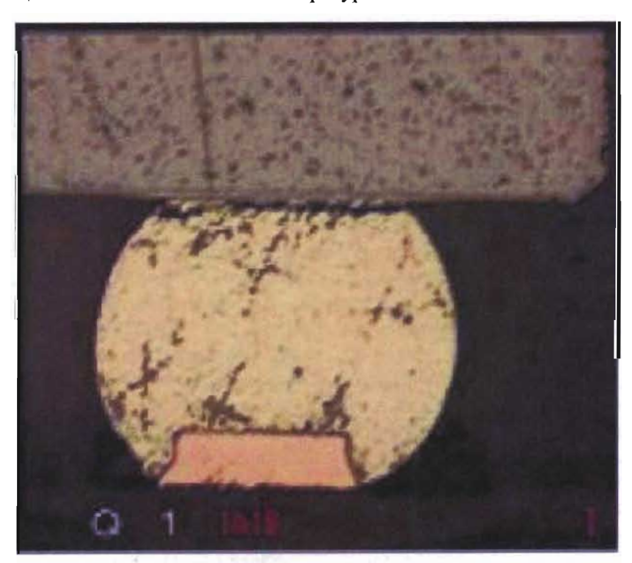


Рисунок 8-6 Разрушение паяного соединения из-за несовпадения коэффициентов теплового расширения кремния и материала платы

8.3.2 Локальное несоответствие теплового расширения Локальная несоответствие теплового расширения возникает из-за различия теплового расширения припоя и материала основы электронного компонента или ПП, к которой он припаивается. Несоответствие теплового расширения является результатом разности коэффициентов теплового расширения припоя и материалов основы, а также перепады температур. Локальные расхождения коэффициентов теплового расширения обычно лежат в пределах от ~7 ppm/°C для меди до ~18 ppm/°C для керамики и ~20 ppm/°C для сплава 42 и ковара̂ (кобальт-никель). Локальное несоответствие теплового расширения обычно меньше, чем глобальное, поскольку расстояние и максимальный размер смоченной припоем поверхности намного меньше, порядка сотен микрон.

8.3.3 Внутреннее несоответствие теплового расширения Внутреннее несоответствие коэффициентов теплового расширения в ~6 ppm/°C является результатом различия тепловых коэффициентов в разных фазах припоя, богатых оловом или свинцом. Некоторые из перспективных бессвинцовых припоев обладают одинаковым коэффициентом теплового расширения. Разница внутреннего теплового расширения обычно невелика, поскольку расстояния и размер частиц намного меньше, чем длина смачивания или размер компонента – менее 25 мкм.

Для бессвинцовых припоев металлургия более сложная из-за трехкомпонентного и четырехкомпонентного состава сплавов при очень высоком содержании олова.

8.4 Повреждение паяного соединения Отказом паяного соединения поверхностно-монтируемого компонента и платы обычно считается первое полное разрушение любого из паяных соединений этого компонента. Учитывая, что на паяные соединения обычно действует механическое воздействие сдвига, а не растяжения, механическое повреждение паяного соединения не обязательно влечет за собой нарушение электрического контакта. С электрической точки зрения механическое повреждение паяного контакта приводит, по крайней мере вначале, к случайному кратковременному (< 1 мкс) скачку сопротивления во время механического или теплового возмущения.

С практической точки зрения отказом паяного соединения следует считать первое наблюдение такого события. Однако в некоторых случаях это определение отказа может оказаться недостаточным. В системах с высокой тактовой частотой с резкими фронтами импульсов ухудшение сигнала, предшествующее полному механическому разрушению паяного соединения, может потребовать более точных критериев отказа. Аналогично для электронных систем, подвергающихся воздействию значительной вибрации или ударным нагрузкам, может потребоваться другое определение отказа паяного соединения, учитывающее ослабление контакта из-за накопления усталости.

8.4.1 Классификация повреждений паяных соединений Существует несколько типичных признаков повреждений паяных соединений BGA. Эти дефекты могут образовываться в процессе сборки или возникать из-за скрытых повреждений паяных соединений. К возникновению дефектов приводят неправильный процесс сборки, применение дефектных материалов и избыточные механические напряжения во время сборки. К повреждениям паяных соединений относятся частичные разрывы, микротрещины, полные разрывы с

потерей контакта и частично отслоившиеся контактные площадки. Их трудно обнаружить при помощи стандартных технологий проверки, таких как рентген и внутрисхемное тестирование. Они сильно уменьшают надежность системы, т.к. могут вначале проявляться в виде периодических дефектов. Впоследствии они развиваются, обуславливая высокий уровень эксплуатационных отказов.

8.4.2 Повреждение 1: холодная пайка Холодное паяное соединение образуется в результате низкой пиковой температуры процесса пайки (< ликвидус + 20°C). Температура ликвидуса для сплава припоя - это температура, выше которой весь объем припоя становится жидким. Паяльная паста плавится частично и формирует холодное паяное соединение. Такая пайка характеризуется шероховатой поверхностью и иногда имеет сужение в месте соединения с платой. Припой на вид зернистый, как показано на рисунке 8-7, а структуры частиц шарикового вывода BGA и паяльной пасты заметно отличаются; это указывает на то, что паста не достигла температуры, необходимой для полного оплавления. В некоторых случаях сплавление отдельных частиц паяльной пасты может отсутствовать. Следует отметить, что для большинства бессвинцовых припоев поверхность паяных соединений имеет зернистый вид.

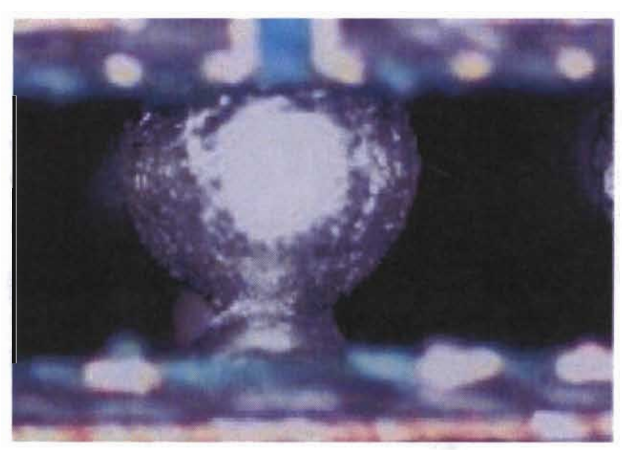


Рисунок 8-7 Паяное соединение с видимой зернистостью

8.4.3 Повреждение 2: непропаяная контактная площадка Загрязнение контактной площадки ПП приводит к непропаиванию соединения между ПП и шариковым выводом BGA. Припой смачивает шариковый вывод, но площадка остается несмоченной. Может наблюдаться частичное или полное нарушение электрического контакта. Такое повреждение может возникать в результате отклонений в технологии покрытия контактных площадок платы никелем в процессе нанесения финишного покрытия ENIG. Один из видов повреждения, известный как "черная площадка", показан на рисунке 8-8; еще один вид повреждения показан на рисунке 8-9. Указанный дефект может возникать в результате ремонта ПП, проведенного поставщиком, и повторного нанесения паяльной маски в месте установки компонента BGA.

8.4.4 Повреждение 3: опускание шарика Этот дефект заключается в разрыве паяного соединения между шариковым выводом и подложкой компонента BGA. При этом шариковый вывод опускается, в результате чего он приобретает вытянутую форму с закругленным или плоским верхом. Опускание шарика – это повреждение, вызванное высокой температурой поверхности платы во время пайки волной припоя (> ликвидус - 20°C). Температура ликвидуса для сплава припоя - это температура, выше которой весь объем припоя переходит в жидкое состояние. Во время пайки волной шариковые выводы BGA размягчаются из-за высокой температуры поверхности. Термомеханическое напряжение приводит к отрыву шариков от подложки компонента и обрыву соединений, как показано на рисунке 8-10. Отрыв шарика может быть вызван также высокой пиковой температурой и длительной выдержкой времени во время пайки оплавлением.

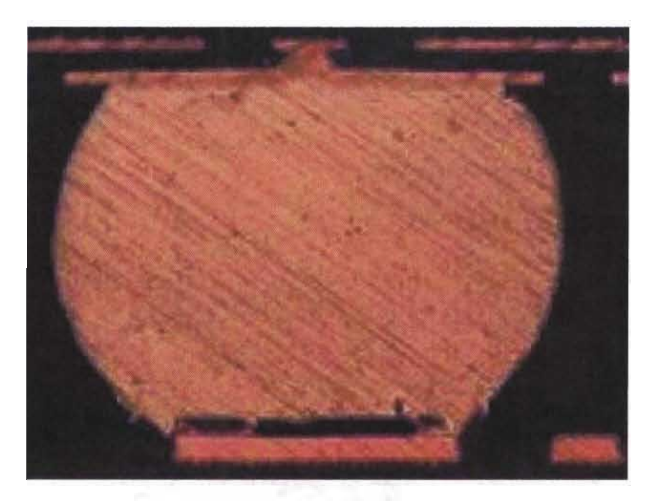


Рисунок 8-8 Непропаяная площадка ("черная площадка")

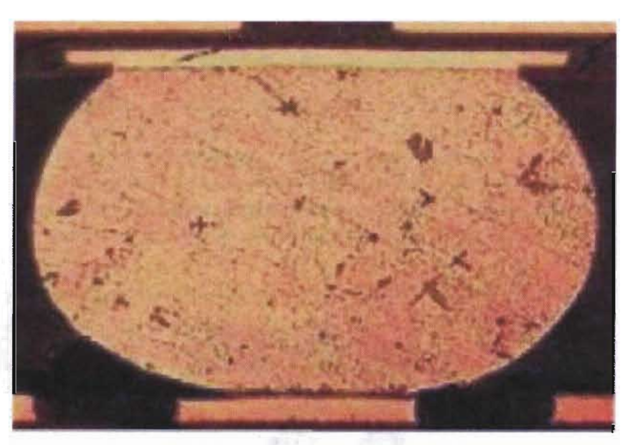


Рисунок 8-9 Загрязнение контактной площадки (остатки паяльной маски)

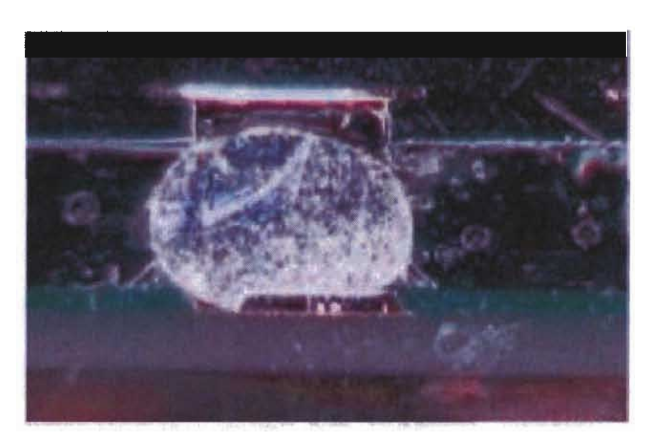


Рисунок 8-10 Отрыв шарикового вывода от подложки

8.4.5 Повреждение 4: отсутствие шарика Отсутствие шарикового вывода в результате некачественного присоединения шарика или в результате небрежного обращения показано на рисунке 8-11. Этот дефект обычно хорошо заметен, и его легко обнаружить при помощи рентгена или внутрисхемного контроля.

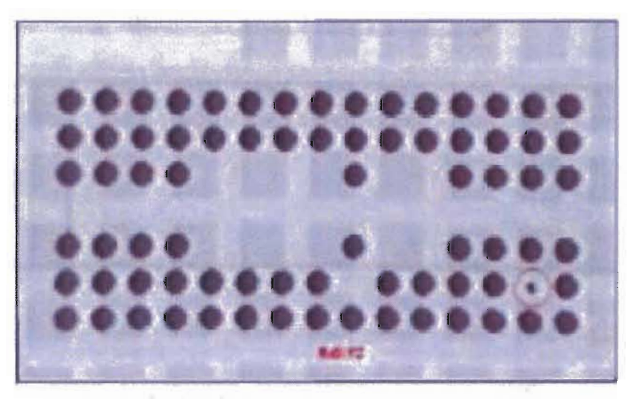


Рисунок 8-11 Пропуск шарикового вывода

8.4.6 Повреждение 5: деформация корпуса Деформация корпуса BGA возникает в процессе пайки, как показано на рисунке 8-12. Наихудший случай – деформация краев корпуса (вогнутая форма). Хотя и шариковый вывод, и паяльная паста оплавлены, смачивания границы между ними не происходит. В некоторых случаях это повреждение проявляется в виде



Рисунок 8-12 Нарушение паяного соединения из-за деформации корпуса BGA

вытянутых соединений (столбиков) по соседству с дефектным.

8.4.7 Повреждение 6: механическое повреждение Механическое напряжение, вызванное изгибом платы при внутрисхемном тестировании, при сборке ПП возникает довольно часто. По мере увеличения размеров корпуса BGA возрастает воздействие механических напряжений на выводы, расположенные по углам. Необходимо обеспечивать равномерный контакт с выводами корпуса BGA; зачастую механическое напряжение, вызванное контактированием выводов и вакуумным прижимом, игнорируется. Важно отметить, что избыточное монотонное напряжение, вызванное механическими напряжениями, приводит к скрытым повреждениям паяного соединения.

Поскольку самым слабым соединением является то, которое повреждается, признаки повреждений могут отличаться. Трещина может возникнуть внутри шарика BGA, или в ПП, или на границе между шариком и подложкой или ПП, или при отрыве площадки от поверхности ПП («кратер» площадки). На рисунке 8-13 показаны два примера отслоения угловой площадки из-за избыточного механического напряжения. Этот дефект называется также кратером площадки.

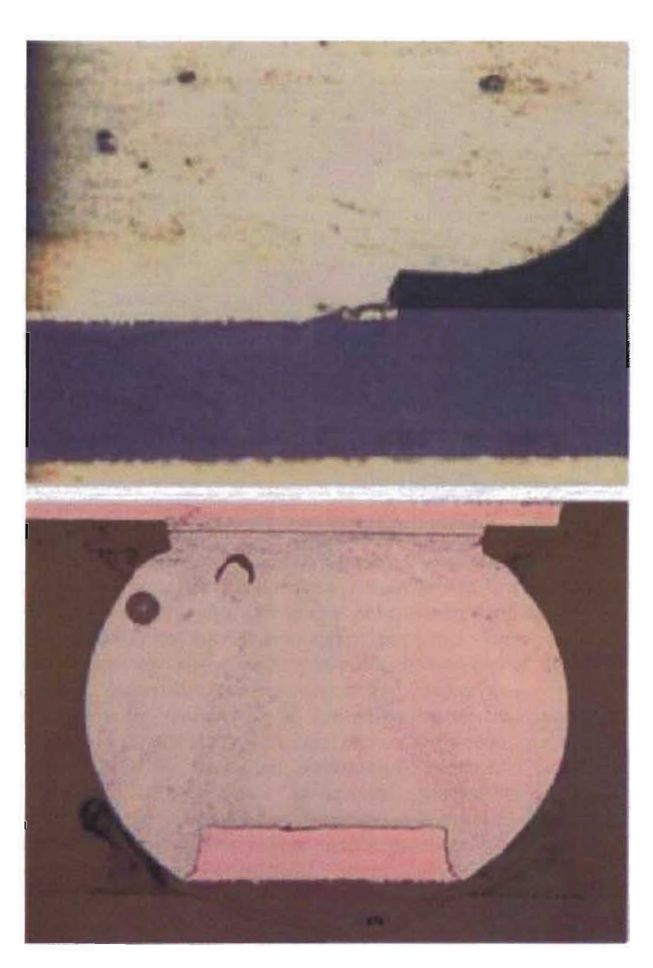


Рисунок 8-13 Два примера образования кратеров (расположены на угловой площадке BGA)

Кратер на площадке может привести к отказу соединения из-за обрыва электрической цепи. Начальная трещина ослабляет соединение механически. По мере развития трещина может

разорвать электрические соединения. Это явление показано на рисунке 8-14. Разрушение по этому признаку усугубляется высокими температурами при бессвинцовой пайке, жесткостью ламинатов и возрастающей плотностью трассировки соединений на плате.



Рисунок 8-14 Кратер площадки под бессвинцовым шариковым выводом с шагом 1.0 мм. Отчетливо видна трещина в месте присоединения металлической дорожки к площадке; однако, наблюдение кратера площадки в светлопольной микроскопии затруднено.

Устойчивость паяных соединений BGA к механическим напряжениям – это функция нескольких факторов:

• Положение компонента BGA

• Толщина ПП

• Установка

• Размер контактной площадки

• Механизм отверждения

• Объем припоя

• Механические свойства припоя

• Характеристика ползучести припоя

• Качество межфазных границ паяного соединения

Для устранения данного дефекта некоторые разработчики, особенно производители сотовых телефонов, применяют угловые площадки увеличенного размера, вытянутые площадки и заполнение компаундом для повышения надежности. Для устранения повреждений паяных соединений во время сборки наиболее важны правильное закрепление платы и правильное обращение с компонентами.

8.4.8 Повреждение 7: недостаточное оплавление Это повреждение возникает, когда шариковый вывод BGA не получает теплоты, достаточной для достижения температуры выше значения ликвидуса припоя. На рисунке 8-15А показан классический результат недостаточной температуры пайки; шариковый вывод не расплавляется и не соединяется с припоем контактных площадок.

При возникновении недостаточно оплавленных паяных соединений они обычно локализуются в средней части под корпусом BGA, потому что эти области медленнее прогреваются в процессе пайки и выше вероятность того, что не будет достигнута адекватная температура.

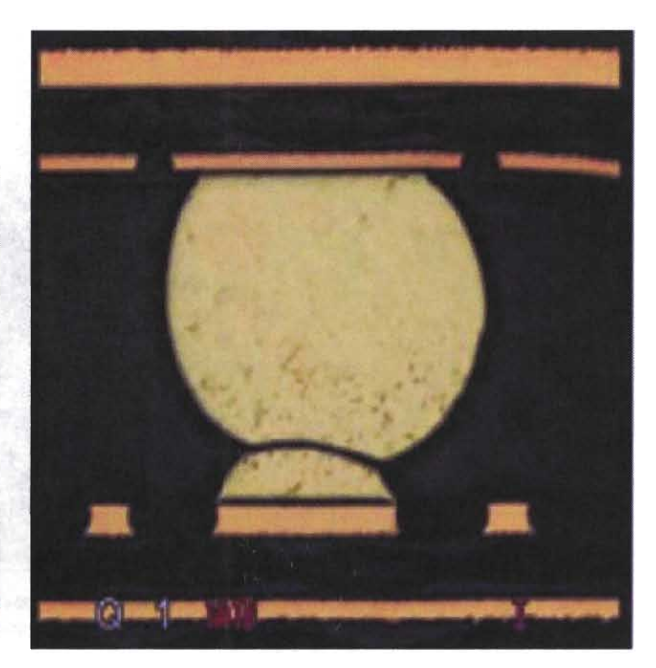


Рисунок 8-15А Недостаточная температура оплавления

Иногда недостаточно оплавленные паяные соединения возникают из-за того, что на компоненте имеется деталь, например, фиксатор на разъеме, которая отводит тепло из этой зоны во время пайки. Далее на рисунке 8-15В приведен пример недостаточного оплавления паяных соединений по этой причине.

8.5 Важнейшие факторы, влияющие на надежность

8.5.1 Технология корпуса Существует множество типов компонентов BGA, изготавливаемых из различных материалов. В большинстве коммерческих устройств используется пластиковый корпус и армированные жесткие органические подложки. Для соединения корпуса и платы применяются металлизированные контактные площадки или шариковые выводы из припоя. Компоненты с матричными контактными площадками (Land grid array (LGA)) обычно применяются в случаях, когда высота корпуса является критичной. В компонентах с матричным расположением шариковых выводов (BGA) используются сферические контакты из припоя. В основном в большинстве пластиковых компонентов BGA выводы изготавливаются из сплава Sn/Pb (эвтектический) или Sn/Ag/Cu (бессвинцовый). В компонентах с керамическими подложками в качестве шариковых или столбиковых выводов могут использоваться припои с высоким содержанием свинца, например, 10Sn/90Pb. Все чаще в компонентах применяются подложки из неармированных диэлектрических пленок и разнообразные комбинации герметизирующих материалов. Также широко используются миниатюрные корпуса с малым шагом выводов (FBGA) и корпуса, размер которых совпадает с размером кристалла (DSP) (особенно в портативных и ручных электронных устройствах), а многие мощные устройства содержат встроенные радиаторы или теплоотводящие слои (см. раздел 4).

Одной из главных задач при разработке компонентов BGA является достижение долговременной надежности паяного соединения выводов корпуса с контактными площадками обычной печатной платы. Разница коэффициентов теплового

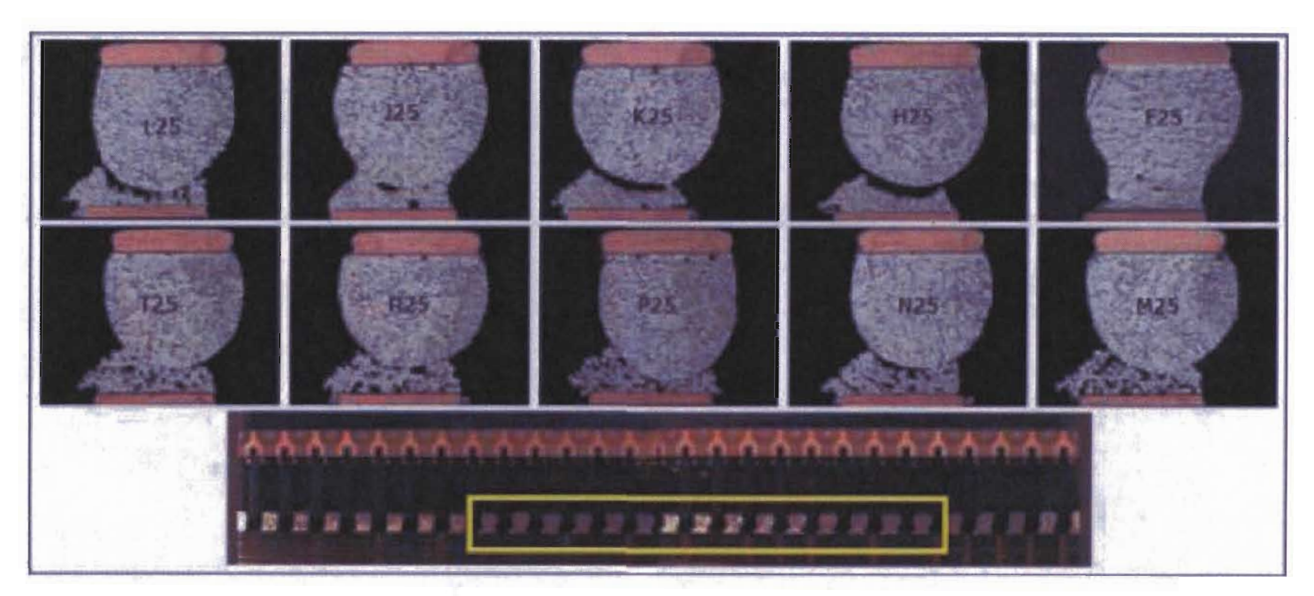


Рисунок 8-15В Микрофотографии поперечного сечения, на которых наблюдается недостаточное оплавление паяных соединений во время пайки. Эти паяные соединения расположены под фиксатором разъема.

расширения материалов может привести к чрезмерному напряжению на границе соединений. Надежность паяного соединения корпусов BGA зависит от режима нагрузки на соединение и от требований надежности всего изделия. Разность коэффициента теплового расширения усугубляется, если большие кремниевые кристаллы устанавливаются на органические подложки с неподходящим эпоксидным компаундом. Коэффициент теплового расширения кремния близок к значению 3 ppm/°C, а у органической подложки – около 16 ppm/°C. Деформация корпуса во время процессов сборки и даже рассеяние мощности внутри корпуса может привести к возникновению значительного растягивающего усилия в паяных соединениях. Избыточное напряжение и растяжение паяного соединения вызывает повреждение, и даже отрыв контактных площадок.

Если кристалл закреплен на подложке с помощью жесткого эпоксида, материал подложки непосредственно под кристаллом может быть ограничен в своем тепловом расширении кристаллом. Однако шариковые выводы, находящиеся в том же месте, подвергаются воздействию широкого диапазона рабочих температур, поэтому в паяном соединении возникает избыточное напряжение. В «пустотелых» компонентах (кристалл установлен передней частью от подложки) только тонкий диэлектрический слой отделяет паяные соединения от кристалла. Чем больше кристалл, тем выше требования к надежности паяных соединений. Кроме того, трещины в паяных выводах BGA обычно возникают рядом с местом соединения шарика и корпуса. Они являются следствием локального несовпадения коэффициентов теплового расширения припоя и подложки, ограниченной в своем тепловом расширении кристаллом.

В настоящее время производители больших компонентов BGA стремятся размещать выводы по периметру корпуса, оставляя в центре тепловые выводы и отверстия. В случае невозможности расположения выводов за пределами области кристалла некоторые производители применяют более мягкие материалы для закрепления кристаллов. Этот мягкий материал обладает большей толщиной и способен значительно уменьшить механические напряжения на границе между припоем и платой, обеспечивая значительное увеличение усталостной выносливости.

8.5.2 Зазор между компонентом и платой Величина зазора между компонентом и платой существенно влияет на надежность паяных соединений. Чем больше зазор, тем выше надежность соединения. Использование в качестве материала выводов припоя 63Sn/37Pb дает выводы меньшей высоты (h от ~400 до 640 мкм), которую к тому же сложнее регулировать, тогда как шариковые выводы из припоя 10Sn/90Pb диаметром от 760 до 890 мкм обеспечивают формирование паяных соединений с высотой того же значения, поскольку температура плавления этого припоя намного выше, чем у близких к эвтектическим сплавов Sn/Pb, и выводы не плавятся во время обычной пайки. В таблице 8-3 приведена информация о типичных зазорах по высоте при установке компонентов BGA на шариковых выводах из сплава SnPb и паяльную пасту.

Таблица 8-3 Типичные зазоры по высоте для шарика SnPb (мм)

Шаг шариков	Зазоры по высоте	Диаметр шарика перед пайкой	Размер контактной площадки ПП
1.27	0.40-0.60	0.75	0.65
1.00	0.45-0.55	0.60	0.45
	0.35-0.45	0.50	0.40
	0.30-0.40	0.45	0.35
0.80	0.35-0.45	0.50	0.40
	0.30-0.40	0.45	0.35
	0.28-0.35	0.40	0.35
	0.18-0.25	0.30	0.25
0.50	0.18-0.26	0.25	0.25
	0.08-0.15	0.17	0.25

Масса корпуса также влияет на надежность паяного соединения, т.к. она влияет на зазор между компонентом и платой. Главными факторами, влияющими на зазор, являются

размер площадки, объем припоя и масса компонента. Чем меньше масса и размер площадки и чем больше объем припоя, тем больше зазор.

8.5.3 Конструкция ПП На надежность изделия влияют также геометрия паяных соединений и металлизация контактных площадок. Паяльные маски оказывают негативное влияние, если они используются для площадок, ограничиваемых паяльной маской (SMD) с паяльной маской на металлизированных площадках, влияющей на форму паяного контакта. Концентрация напряжений, создаваемая формой паяного соединения с контактной площадкой типа SMD, может быть источником отказа паяных соединений и снижать надежность. Еще больше на надежность паяного соединения может влиять форма и толщина паяльной маски. На рисунке 8-16 показана трещина, возникшая в результате концентрации напряжения в паяльной маске.

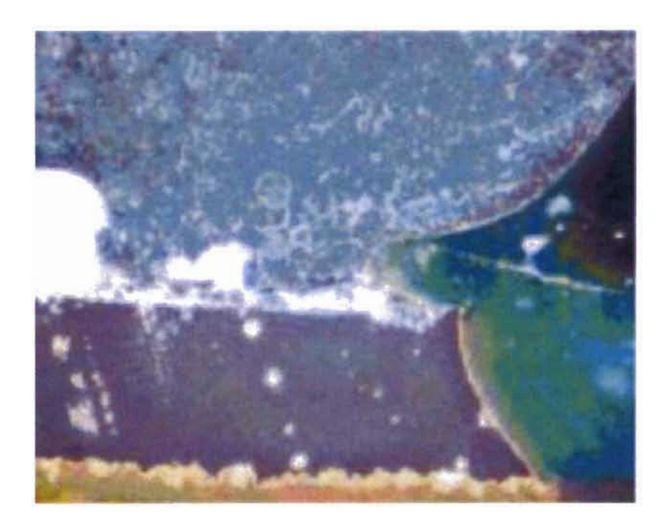


Рисунок 8-16 Влияние паяльной маски

Увеличения ресурса по усталости в 1,25 – 3 раза можно достичь, применяя контактные площадки, не ограничиваемые паяльной маской (NSMD). В отличие от SMD-площадок, в этих площадках наблюдается значительное увеличение надежности при более жестких условиях нагрузки. Финишная обработка поверхности проводников также играет важную роль в обеспечении надежности паяного соединения BGA. Наиболее часто используемое покрытие HASL может быть очень толстым или очень тонким. Недостаточная толщина припоя может превратиться в интерметаллическое соединение, которое невозможно паять. Иммерсионное золотое покрытие поверх никелирования химическим осаждением подвержено дефектам «черной площадки», которые приводят к появлению трещин в паяных соединениях под воздействием механического и теплового напряжения. Дефект «черной площадки» является результатом коррозии никеля в процессе покрытия золотом.

Растрескивание печатной платы под контактными площадками также влияет на надежность паяных соединений BGA. Такие отказы возникают в результате теплового и механического напряжения во время пайки или последующих механических нагрузках на соединения. Переходное отверстие в площадке и рядом с площадкой может вызывать отток припоя. Как правило, делать такие отверстия не рекомендуется. Хотя некоторые производители успешно применяли отверстия в контактных площадках, такой подход должен рассматриваться только компаниями с мощными внутренними ресурсами, которые в состоянии обеспечить надежность паяных соединений с отверстиями в контактных площадках.

Все чаще в контактных площадках компонентов BGA применяют переходные микроотверстия. В большинстве выводов корпусов BGA пустоты возникают вне зависимости от наличия микроотверстий. Исследования показали, что большинство пустот не вызывают образование трещин, однако они снижают площадь контакта и уменьшают время наработки на отказ, если возникает трещина. На рисунке 8-17 показано повреждение, возникшее после испытаний на надежность, когда пустота оказалась настолько велика, что произошло сжатие шарика.

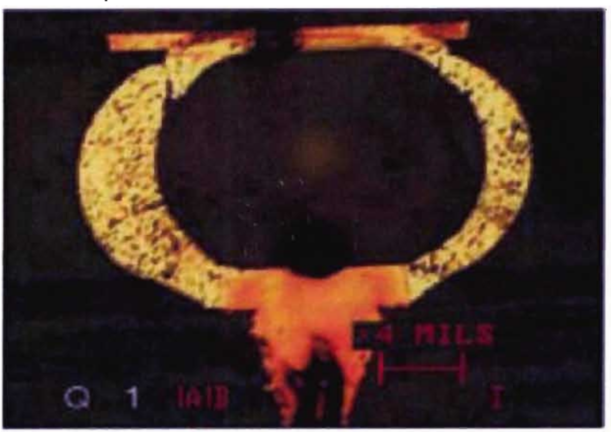


Рисунок 8-17 Повреждение после испытания на надежность из-за очень крупной пустоты

8.5.4 Надежность паяных соединений керамических компонентов BGA Коэффициент теплового расширения керамического компонента BGA составляет около 6 ppm/°C; коэффициент теплового расширения органических ПП находится в диапазоне 16-20 ppm/°C. Как видно из приведенных показателей, между керамическими компонентами и органическими печатными платами существует разница тепловых коэффициентов, составляющая от 10 до 14 ppm/°C. Чтобы компенсировать большую разницу коэффициентов теплового расширения, для обеспечения надежности в керамических компонентах обычно следует применять выводы из столбиков припоя. Поскольку угловые выводы нагружены больше, чем другие паяные соединения (они наиболее удалены от нейтральной точки или DNP), они первыми выходят из строя.

Столбики припоя, которые сейчас используются только в керамических корпусах CGA, изготавливаются из сплава 10Sn/90Pb, имеют длину от 1,27 до 2,29мм, заливаются в CGA или припаиваются при помощи проводных контактов к CGA и плате эвтектическим припоем Sn/Pb. Усталостная выносливость и все параметры, кроме высоты паяного соединения, идентичны CBGA (0,41 мм/16 милл): CBGA (0,76 мм/30 милл): CBGA (2,29 мм/90 милл) = 1: 4 : 45. Высота столбика припоя ограничена соотношением высоты и диаметра, которое должно быть таким, чтобы столбик не получился тонким и неустойчивым при изменении характера нагрузки. В литых столбиках могут применяться большие отношения высоты к диаметру.

8.5.5 Бессвинцовая пайка BGA В данном разделе описывается бессвинцовая пайка компонентов BGA. Сначала перечисляются причины перехода к бессвинцовой пайке, затем приводятся описания различных бессвинцовых сплавов и порядок их выбора. Далее рассматриваются особенности проектирования и сборки плат для компонентов BGA; в заключение приведен анализ изменения технологий при переходе от оловянно-свинцовых припоев к бессвинцовым.

8.5.5.1 Причины перехода к бессвинцовой технологии Существует две основных причины для перехода от производства продукции с применением оловянно-свинцового припоя на производство по бессвинцовой технологии. Первая причина – законодательная, вторая – рыночная.

Законодательной причиной является директива об ограничении применения опасных веществ (RoHS), которая требует исключить свинец из электронного и электрического оборудования (2002/95SEC). В директиве RoHS устанавливается, что свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром и два бромированных огнезащитных средства запрещены к использованию в электрическом и электронном оборудовании, которое попадает на рынок Евросоюза после 1 июля 2006 года. На сегодня нет ограничений в использовании свинца в США и Японии. В Японии существуют требования переработки ограниченного числа использованного электронного оборудования, включая ПК, ЭЛТ, телевизоры и крупные бытовые приборы. Также существует новая директива ЕС об утилизации электрического и электронного оборудования (WEEE). С 2005 года утилизация оборудования должна проводиться в соответствии с этой директивой.

Другой причиной является рыночный фактор. Компании разрабатывают и поставляют изделия без использования свинца в качестве маркетинговых акций. По существу, они не хотят быть отодвинутыми на задний план конкурентами, которые представят бессвинцовую продукцию раньше них.

8.5.5.2 Выбор бессвинцового припоя В идеале бессвинцовые припои должны просто заменить свинцово-оловянный припои (Sn-Pb), не требуя значительных изменений материалов, оборудования и технологий сборки компонентов и плат. К сожалению, среди существующих на сегодняшний день бессвинцовых припоев, таких заменителей не существует.

Плодотворная работа по выбору наилучшего бессвинцового припоя была проведена в течение трех лет национальным центром по промышленным исследованиям (NCMS). Результатом исследований стал отчет, в который вошли описания 79 бессвинцовых припоев.

В таблице 8-4 приведены некоторые из наиболее распространенных бессвинцовых припоев, проанализированных группой NCMS. Они отсортированы по температуре плавления. Подавляющее большинство этих сплавов богато оловом (> 90% Sn), формирующим двойные или тройные системы с другими элементами, такими как Bi, Zn, Sb, Ag и Cu. Температуры плавления, преимущества и недостатки этих сплавов, а также потенциальные заменители перечислены в таблице.

Температура плавления сплавов с высоким содержанием олова заметно выше (на ~30-40°C), чем у эвтектических припоев SnPb (температура плавления = 183°C). Сплавы с такой же или более низкой температурой плавления встречаются редко.

Некоторые производители выбирают сплавы семейства Sn-Ag-Cu. Выбор именно этого семейства сплавов, а также конкретных сплавов внутри него, был сделан после рассмотрения и оценки многих факторов. Сюда входят:

• Температура плавления.

• Смачиваемость распространенных финишных покрытий компонентов и контактных площадок плат.

• Совместимость с основными флюсами, особенно не требующими отмывки.

• Надежность компонентов и платы.

• Механические, электрические и тепловые свойства.

• Ремонтопригодность.

• Совместимость со свинцом (в переходный период).

• Доступность у поставщиков.

• Стоимость.

• Вопросы патентования.

В таблице 8-5 приведено сравнение сплавов, выбранных тремя консорциумами. Сплавы очень близки друг другу по составу и в процессе пайки ведут себя одинаково. Поставщики припоев обычно устанавливают допуски ± 0,2% от массы каждой отдельной составляющей припоя, что соответствует требованиям спецификации ANSI J-STD-006. С учетом этого, все приведенные ниже сплавы оказываются взаимозаменяемыми.

8.5.5.3 Рекомендации для сплавов с содержанием Ag около 1%:

• Паяные соединения должны нагреваться до температуры не ниже 235°C с выдержкой выше точки ликвидуса (TAL) не менее 60 с.

• При использовании BGA, в которых применяются сплавы с низким содержанием Ag, может потребоваться модификация профиля оплавления.

• Профили оплавления должны оцениваться, как минимум, с применением металлографических методов, что требует дополнительной опытно-конструкторской работы.

Наряду с тщательной настройкой профиля печи должны выполняться металлографические исследования (при статистически значимых размерах выборки) для проверки формирования паяных соединений компонентов с шариковыми выводами, выполненными из припоя с низким содержанием Ag.

Количество термопар, используемых при настройке профиля, должно быть значительно увеличено, чтобы показать соответствие компонентов с низким содержанием Ag приведенным выше требованиям, и что для всех остальных компонентов выполняются технические условия (отсутствие перегрева).

Сплавы с содержанием 1% Ag оказались несовместимыми с многими действующими промышленными спецификациями бессвинцовой сборки, которые требуют минимальных значений пиковой температуры оплавления / TAL

Таблица 8-4 Распространенные припои, точки плавления, преимущества и недостатки

Сплавы или системы сплавов	Температура плавления (°C)	Преимущества	Недостатки
Sn95Sb5	240	Хорошая усталостная прочность.	Токсичность выше, чем у Pb; высокая температура плавления; интервал кристаллизации 8°C; плохое смачивание; низкая прочность на растяжение.
Sn99.3Cu0.7	227	Низкая стоимость по сравнению с другими бессвинцовыми припоями; не подвержен дефекту типа подъем контактной площадки при отсутствии Pb.	Пониженная смачиваемость на воздухе, но хорошая в инертной атмосфере.
Sn96.5Ag3.5	221	Один из лучших по результатам исследований группы NCMS; используется в течение долгого времени в различных применениях; по результатам нескольких ускоренных испытаний на надежность - усталостные характеристики на уровне припоев SnPb.	Самое плохое смачивание при пайке среди сплавов с высоким содержанием олова; хотя смачиваемость приемлема для большинства операций сборки плат.
SnAgCu	217-220	Лучшее сопротивление ползучести, чем у сплавов Sn-Pb; по результатам ускоренных испытаний на надежность - усталостные характеристики лучше, чем у сплавов Sn-Pb.	Склонность к образованию трещин в условиях эксплуатации, сопровождающихся ударами. Некоторые составы запатентованы.
SnZnBi	191-199	Температура плавления, ближайшая к температуре плавления сплавов SnPb; прочность выше, чем у сплавов SnPb; по результатам некоторых ускоренных испытаний на надежность - усталостные характеристики лучше, чем у сплавов Sn-Pb.	Подвержен окислению и коррозии, но небольшое количество Al может снять эту проблему; требует применения специальных флюсов и технологий пайки для достижения приемлемого выхода годных.
Sn91Zn9	199		
Sn63Pb37	183	Наиболее широко используемый припой.	Содержит свинец.
Sn62Pb36Ag2	179	Один из худших припоев по оценке NCMS; сейчас используется для низкотемпературных применений.	Содержит свинец, более дорогой.
Bi58Sn42	139	Припой с одной из самых низких точек плавления.	Температура плавления слишком низка для компьютерных применений; подвержены формированию тройной фазы с низкой температурой плавления при загрязнений Pb.
In52Sn48	118	Хорошая усталостная прочность.	Поставки индия ограничены; точка плавления слишком низкая для компьютерных применений; подвержены коррозии.

Таблица 8-5 Сравнение бессвинцовых припоев семейства SnAgCu, выбранных различными консорциумами

Консорциум	% Sn	% Ag	% Cu
IDEAL	95.5	3.8	0.7
Solder Products Value Council	96.5	3.0	0.5
iNEMI	95.5	3.9	0.6

порядка 230°C/60 с, хотя для других сплавов эти спецификации вполне подходят. Реальный предел содержания Ag, при котором необходимо существенно изменить нижний предел температурного профиля, точно не определен. Предполагается, что он находится в пределах 1% - 2.3% Ag. На это значение могут повлиять и другие факторы, поэтому предосторожность не помешает при работе с любым сплавом с содержанием Ag менее 3%.

Надежность паяных соединений - промышленные исследования согласованно указывают на повышенную стойкость к удару для сплавов с низким содержанием Ag по сравнению с близким к эвтектическому SAC. В дополнение к составу сплава результаты зависят еще и от финишного покрытия контактных площадок. Точная причина положительного эффекта находится в стадии обсуждения. Возможно, это обусловлено снижением жесткости и предела текучести в объеме шарикового вывода. Предполагаются ожидаемые изменения состава интерметаллического слоя и/или структуры паяного соединения. Для отвердевания шарика BGA требуется снижение переохлаждения.

Влияние сплава шарика на термоусталостную стойкость в настоящее время остается неясными. Имеются противоречивые данные для зависимости усталостной долговечности от содержания Ag. В настоящее время для этих сплавов не разработаны модели ускоренных испытаний, что делает невозможным прогнозирование срока службы изделия. Кроме того, исследовательских результатов недостаточно, чтобы сравнить характеристики эвтектических оловянно-свинцовых сплавов и сплавов с низким содержанием Ag.

Переход на шариковые выводы из сплава с низким содержанием Ag - Вследствие вероятного влияния на допуски процесса оплавления и надежность соединений переход от близкого к эвтектическому сплава SAC к сплаву с содержанием Ag менее 3% может считаться изменением по форме, сути и назначению. В данном случае уместным было бы изменить и номер детали для компонентов BGA, в которых изменен материал шариковых выводов.

8.5.5.4 Особенности проектирования печатных плат Проектирование печатных плат для компонентов BGA с использованием бессвинцовых припоев обычно мало отличается от проектирования плат под обычный свинцово-оловянный припой. Для плат, собираемых по бессвинцовой технологии, следует применять те же Правила технологичного проектирования (DfM), что и для обычных (SnPb) плат. Это относится к правилам ориентации компонентов, пайки, сверления переходных отверстий, нанесения паяльных масок, ремонтопригодности и контролепригодности.

Некоторые из указанных правил описаны ниже.

Контактные площадки для компонентов BGA - Как и в платах с оловянно-свинцовым, для пайки компонентов BGA припоем SnAgCu предпочтительнее использовать контактные площадки, не ограниченные паяльной маской, т.к. они предоставляют максимальную гибкость в разработке ПП и образуют меньше точек концентрации напряжений в паяных соединениях.

Расположение компонентов на ПП - Поскольку припои SnAgCu характеризуются повышенной температурой плавления, следует с осторожностью подходить к размещению больших и чувствительных к температуре компонентов BGA на плате. Температура вблизи краев платы, в зависимости от ее размера, толщины и количества слоев, обычно на 5-15°С выше, чем в центре. Т.к. большие компоненты больше подвержены механическим дефектам, вызванным воздействием влаги и температуры во время пайки, такие корпуса, если возможно, следует устанавливать в центральной части платы. Другие факторы, такие как трассируемость и плотность проводников, могут привести к необходимости установки больших корпусов BGA у кромок платы. В таких случаях окно процесса пайки оплавлением должно быть сужено для поддержания максимальной температуры компонентов BGA в допустимых пределах.

8.5.5.5 Особенности пайки Пайка обычно проводится в печи с использованием конвекции горячего воздуха. Несмотря на необходимость повышенных температур для плавления припоев SnAgCu (SAC) по сравнению с припоями SnPb, для проведения пайки не требуется нового оборудования. Для этого можно использовать такие же печи, которые использовались для пайки припоями SnPb, с изменением настроек для различных зон нагревания печи оплавления. Следует отметить, что по мере возрастания массы ПП все труднее становится выдерживать предельное значение температуры оплавления, перепад температур на плате и время оплавления, если не используются печи с зонами большой протяженности.

Среда внутри печи может быть воздушной или инертной, например азотной. Для бессвинцовой пайки настоятельно рекомендуется инертная атмосфера, необходимая для минимизации окисления материалов во время пайки при высокой температуре. От паяльной пасты и ее производителя зависят множество критериев, в том числе и тепловая защита электронной сборки. Некоторые финишные покрытия плат, такие как органическое защитное покрытие (OSP), в процессе пайки могут потребовать инертной атмосферы для обеспечения необходимого уровня выхода годных.

Профиль пайки обычно разрабатывается для всех монтируемых плат. Поскольку бессвинцовые припои SAC требуют повышенных температур пайки, очень важно определить температуру на различных участках платы. Температуры компонентов могут меняться из-за влияния соседних компонентов, положения компонентов на плате и соседних компонентов, положения компонентов на плате и плотности установки корпусов.

Чтобы избежать воздействия влаги и термомеханических напряжений, вызывающих повреждения пластиковых компонентов, необходимо измерить температуру компонента и проверить, нет ли превышения максимальной допустимой температуры. Поэтому термопары, которые обычно используются для измерения температуры во время определения профиля пайки, необходимо устанавливать на паяном соединении, а также на корпусах различных компонентов. В компонентах большого размера разница температур между выводами и материалом корпуса обычно превышает 5°С.

Типичный профиль бессвинцовой пайки соединения BGA припоем SAC в сравнении с профилем пайки припоем SnPb приведен на рисунке 8-18. На рисунке показаны четыре участка профиля пайки: участок предварительного нагрева, во время которого из паяльной пасты выделяются легкоплавкие летучие ингредиенты; участок стабилизации, на котором происходит выравнивание температуры по всей плате и начинается активация флюса; участок оплавления, в котором плавится припой, смачивается поверхность контактных площадок и формируется паяное соединение; и, наконец, стадия охлаждения, на которой припой затвердевает, а плата выходит из печи оплавления и охлаждается струей воздуха, нагнетаемого вентиляторами.

Профили, показанные на рисунке 8-18, называются профилями "FAT" (flux activation time - время активации флюса), так как они включают зону стабилизации перед началом оплавления. Можно разработать и «линейные» профили, в которых температура будет непрерывно повышаться от зоны предварительного нагрева до зоны оплавления. Линейные профили позволяют увеличить пропускную способность печи оплавления. Но необходимо соблюдать осторожность, чтобы не допустить перегрева компонентов, особенно на краях платы.

8.5.5.6 Внешний вид бессвинцовых паяных соединений BGA

Паяные соединения компонента BGA закрыты его корпусом. Однако при помощи специального оборудования, такого как эндоскоп, можно увидеть паяные соединения, расположенные по периметру. Микроструктура паяного соединения SnAgCu многофазная, а поверхность выглядит шероховатой. На рисунке 8-19 показано типичное паяное соединение из припоя SnAgCu. Оно сильно отличается от паяных соединений SnPb BGA, которые обычно обладают блестящей поверхностью.

8.5.5.7 Переход на бессвинцовые технологии Переход от технологий пайки с использованием припоев SnPb к полностью бессвинцовым припоям невозможно осуществить за один день. Будет существовать переходный период, в течение которого припои SnPb и бессвинцовые припои будут применяться для пайки печатных плат, т.к. временная и технологическая готовность различных секторов электронной промышленности не синхронны. Наличие переходного периода требует оценить влияние свинца на припой SACu в плане качества и надежности.

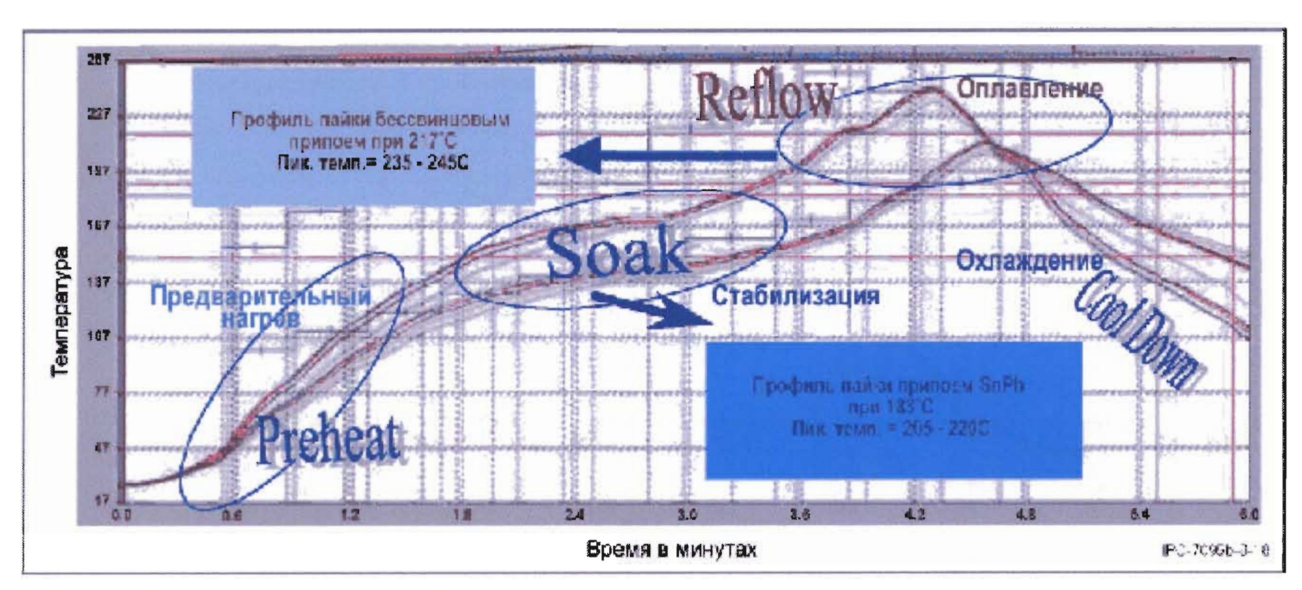


Рисунок 8-18 Сравнение профилей пайки компонентов BGA бессвинцовым припоем (SnAgCu) и припоем SnPb

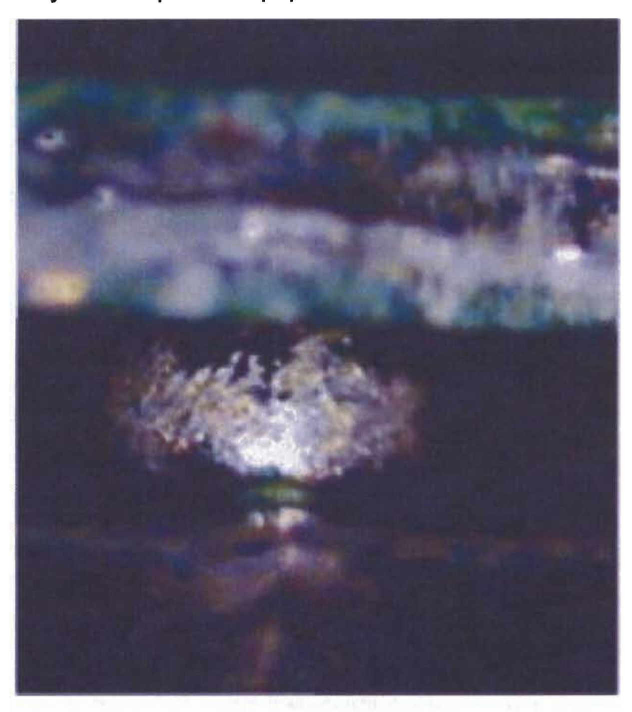


Рисунок 8-19 Эндоскопия шарикового вывода SnAgCu BGA

Различные виды бессвинцовых технологий, существующие в переходный период, перечислены в таблице 8-6.

Первый вариант бессвинцовой технологии – технология, совместимая снизу вверх. Процесс пайки оплавлением плат переведен на бессвинцовую технологию с соответствующими изменениями состава паяльной пасты и профиля пайки. Однако некоторые компоненты, такие как BGA, будут по-прежнему припаиваться на плату припоем SnPb из-за того, что поставщик компонентов планирует перейти на бессвинцовую технологию позже, чем сборщик плат. Это приведет к тому, что свинцовосодержащий припой выводов BGA будет загрязнен заменителями свинца, содержащимися в бессвинцовой паяльной пасте.

Таблица 8-6 Возможные варианты бессвинцовых технологий

Определение	Выводы компонентов / шарики BGA	Паяльная паста	Покрытие поверхности платы
Совместимость снизу вверх	Содержат Pb	Бессвинцовая	Может содержать Pb
Совместимость сверху вниз	Бессвинцовые	63Sn37Pb	Может содержать Pb
Полностью бессвинцовая	Бессвинцовые	Бессвинцовая	Бессвинцовое

Второй вариант бессвинцовой технологии – технология, совместимые сверху вниз. Такой сценарий характерен для случая, когда поставщики компонентов начинают предлагать компоненты, не содержащие свинца в выводах; однако еще не все сборщики, использующие эти компоненты, перевели свое производство на бессвинцовую технологию. Такие сборщики будут проводить сборку бессвинцовых компонентов при помощи повсеместно используемой эвтектической паяльной пасты SnPb с использованием профилей пайки SnPb. В этом случае предпочтительно использовать компоненты с выводами из SnPb, но поставщик по экономическим соображениям не будет поддерживать две линии производства одного и того же устройства, одну с использованием свинца, а вторую бессвинцовую. Паяные соединения, полученные с использованием этой комбинации материалов, будут включать свинцовые «загрязнения» в бессвинцовых шариковых выводах компонентов BGA.

Во время пайки корпуса с шариковыми выводами из сплава SnAgCu паяльной пастой SnPb, возможно развитие событий по двум направлениям в зависимости от используемого профиля пайки. На рисунке 8-20 приведено сравнение двух профилей пайки вместе с общим профилем бессвинцовой пайки, также показанным для сравнения.

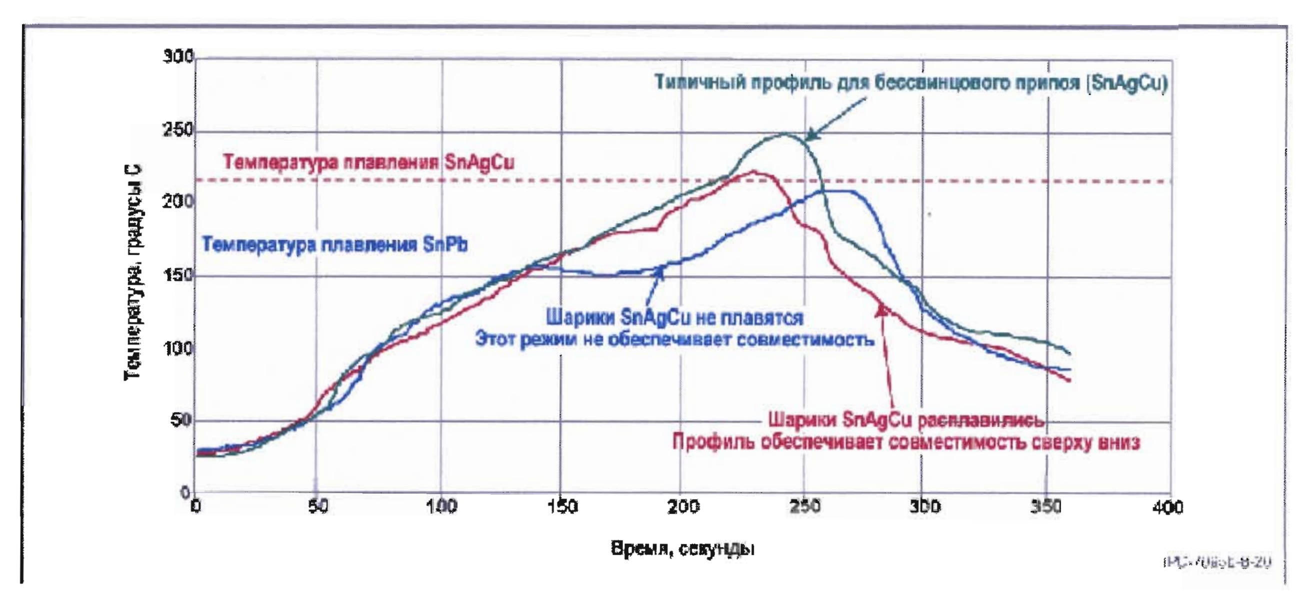


Рисунок 8-20 Сравнение температурных профилей пайки SnPb, совместимого сверху вниз и полностью бессвинцового

Максимальная температура профиля пайки SnPb, использующегося в настоящее время для пайки компонентов с выводами из SnPb, не превышает точку плавления шариковых выводов компонентов BGA из сплава SnAgCu. Это отрицательно влияет на процент годных паек и надежность паяных соединений.

Паяльная паста SnPb, нанесенная на контактные площадки шариковых выводов, плавится, но сами шариковые выводы SnAgCu остаются нерасплавленными. Свинец распространяется между частицами припоя шарикового вывода. Как много свинца из припоя SnPb попадет в шариковый вывод SnAgCu, будет зависеть от того, насколько высока температура пайки и как долго припой SnPb находится в расплавленном состоянии. На рисунке 8-21 приведен микроснимок разреза шарикового вывода SnAgCu корпуса BGA, припаянного к плате с применением стандартного температурного профиля пайки SnPb. Видно, что результирующая микроструктура паяного соединения является неоднородной и нестабильной. Это отрицательно влияет на надежность паяного соединения.

Процент годных паек также уменьшается по двум причинам. Во-первых, из-за плохого самоцентрирования выводов с контактными площадками во время пайки, т.к. выводы не расплавляются. Это приводит к возможности разрыва соединений, если компонент во время или после установки на плату немного сдвинут с контактных площадок. Во-вторых, недостаточное осаждение шарика может привести к отсутствию контакта в соединении из-за плохого контакта между нанесенной паяльной пастой и шариковым выводом.

Поэтому, для повышения процента годных паек и обеспечения надежности соединений, необходимо использовать профиль пайки, совместимый сверху вниз, показанный на рисунке 8-20. Во время пайки по этому профилю шариковый вывод SnAgCu также плавится, а свинец из расплавленной паяльной пасты SnPb тщательно перемешивается с расплавленным выводом SnAgCu и создает однородную мелкозернистую структуру, фазой, богатой свинцом, в оловянной матрице. Такая микроструктура показана на рисунке 8-22.

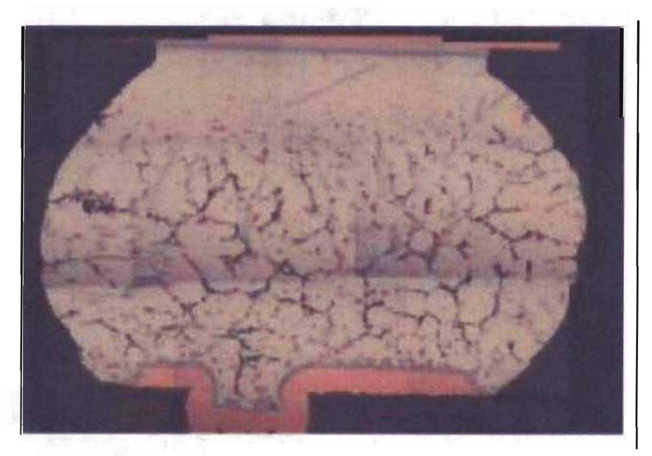


Рисунок 8-21 Микроснимок поперечного сечения паяного вывода BGA из SnAgCu, припаянного на плату с помощью паяльной пасты SnPb и стандартного профиля пайки SnPb. Шариковый вывод SnAgCu не расплавлен. Черные / серые соединенные полосы - обогащенные свинцом границы зерен; частицы в форме столбиков – интерметаллические соединения Ag_3Sn, серые частицы – интерметаллические соединения Cu_6Sn_5.

Кроме того, поскольку шариковый вывод SnAgCu плавится и осаживается, происходит самоцентрирование, уменьшение проблем, связанных с компланарностью, и, таким образом, увеличение процента годных паяных соединений BGA.

8.5.5.8 Замена шариков (реболлинг) Из-за сокращения поставок компонентов с шариками SnPb в некоторых функциональных разработках может потребоваться замена шариков компонентов BGA для сохранения обычной оловянно-свинцовой технологии производства плат. Несмотря на широкое распространение, эта практика имеет отрицательные стороны, связанные с дополнительными термоциклами, необходимыми для удаления шариков с последующей их заменой. Кроме того, сплав, образующийся на поверхности присоединения шарикового вывода к компоненту, может не обладать желаемыми или ожидаемыми эвтектическими свойствами.

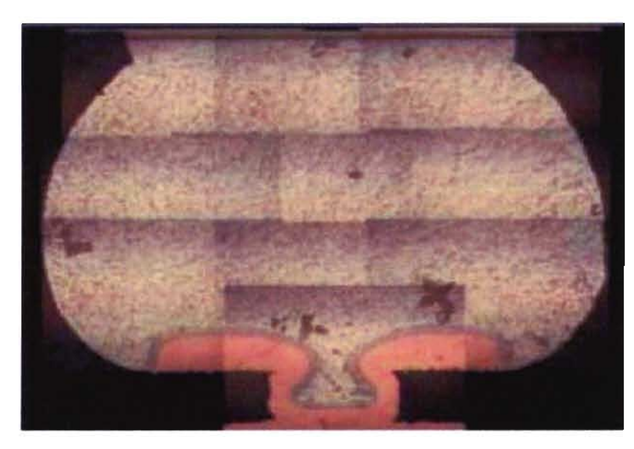


Рисунок 8-22 Микроснимок разреза вывода BGA SnAgCu, припаянного на плату с помощью паяльной пасты SnPb и температурного профиля пайки с совместимостью сверху вниз. Шариковый вывод SnAgCu расплавлен.

Тем не менее, этот процесс позволяет использовать ограниченную элементную базу с применением оловянно-свинцовой технологии для получения требуемых характеристик и/или обеспечения совместимости с унаследованной или вновь разработанной конструкцией изделий, подвергаемых воздействию повышенных температур, необходимых в производственных процессах бессвинцовой технологии. Процесс замены шариков позволяет избежать проблем, связанных с составом пасты, финишным покрытием плат и совместимостью с покрытием компонентов, существенно усложняющих поиск сбалансированных решений для получения удовлетворительных производственных результатов.

Реболлинг компонентов BGA начинается с удаления оригинальных шариков при помощи сосредоточенного источника тепла, например, вакуумного инструмента для демонтажа, лезвия лопатки или оплетки для удаления припоя. После этого выполняется очистка и подготовка корпуса компонента к установке новых шариков, которые совмещаются с первоначальной топологией компонента при помощи приспособления. Затем шарики припаиваются к компоненту с использованием типичного ремонтного источника тепла, например, конвекционной печи оплавления; приспособление с компонентом и шариками можно поместить в обычную печь для пайки. При большом объеме реболлинга в качестве альтернативы можно использовать автоматизированные лазерные системы, в которых выполняется захват и позиционирование шариков на подложке BGA с последующим оплавлением лазерным лучом.

В любом случае источник тепла должен контролироваться в соответствии с температурным профилем, подходящим для компонента и припоя новых шариков. После прикрепления шариков корпус BGA извлекается из приспособления; шарики подвергаются контролю и очистке для подготовки компонента к монтажу и пайке вместе с остальными компонентами печатного узла. Как и в любом технологическом процессе с применением BGA, необходимо учитывать чувствительность компонентов к влаге и электростатическим разрядам. Шарики BGA поставляются в широком ассортименте сплавов и размеров, но должны выбираться таким образом, чтобы обеспечить совместимость с другими элементами процесса, в частности, покрытием платы и паяльной пастой. Кроме того, тщательность подбора размера и расположения шариков обеспечивает сохранение критических зазоров конструкции и шага выводов.

Подробная методика реболлинга BGA приводится в стандарте IPC-7711/21B, ‘Переделка, модификация и ремонт электронных сборок.’

8.6 Проектирование процесса с учетом надежности (DfR) В качестве общей рекомендации можно обратиться к методикам проектирования с учетом надежности, подробно изложенным в стандарте IPC-D-279 .

С целью повышения надежности печатных узлов с компонентами BGA на этапе DfR - проектирования можно предпринять два вида мероприятий, приведенных ниже. Наилучший запас надежности получается при сочетании этих мероприятий:

1. Подбор коэффициентов теплового расширения для снижения разницы коэффициентов компонента и платы.

2. Повышение податливости паяного соединения путем увеличения его высоты (зазора компонент-плата) для компенсации разницы теплового расширения компонента и платы.

Помимо этого, на этапе проектирования с целью повышения надежности можно принять следующие меры:

3. Устранить разницу теплового расширения между компонентом и платой, с помощью соответствующего компаунда, заливающегося под корпус компонента.

4. Выбрать мягкий материал для крепления кристалла, чтобы снизить влияние его низкого коэффициента теплового расширения (от 2,7 до 2,8 ppm /°C) на разницу между глобальным и локальным тепловым расширением.

Подбор коэффициента теплового расширения включает выбор материалов или комбинаций материалов многослойной платы и/или компонентов для получения оптимального значения коэффициента. Оптимальный коэффициент теплового расширения для рассеивающих мощность активных компонентов должен составлять ~1-3 ppm/°C (в зависимости от рассеиваемой мощности) для многослойной платы с большим значением коэффициента, и 0 ppm/°C для пассивных компонентов. Конечно, поскольку на плате установлено большое количество компонентов, полной оптимизации теплового коэффициента для всех компонентов достичь невозможно, его необходимо в первую очередь обеспечить для компонентов, максимально влияющих на надежность всего изделия. Для продукции военного назначения с требованиями герметичности и, соответственно, использованием керамических компонентов, оптимизация коэффициента теплового расширения означает ограничение теплового расширения многослойных плат с такими материалами как кевлар (Kevlar™) и графитовое волокно, пластины медь-инвар-медь и медь-молибден-медь. Такие решения очень дороги для большинства коммерческих применений, в которых применяются многослойные платы из стекловолокна или стеклополиимида. Поэтому, в целях оптимизации коэффициента теплового расширения следует избегать применения компонентов большого размера, керамических (CGA, MCM), пластиковых с выводами из сплава 42 (TSOP, SOT) и пластиковых компонентов с жестко закрепленным кремниевым кристаллом (PBGA).

Повышение податливости безвыводных паяных соединений заключается в увеличении их высоты (C4, C5, установка прокладок, приклеивание, применение шариковых и столбиковых выводов из сплава 10Sn/90Pb) или переход к выводным соединениям. Для выводных соединений повышение податливости выводов может заключаться в выборе такого поставщика компонентов, который предлагает детали с геометрией выводов, поддерживающей повышенную податливость, или переход к технологии малого шага выводов.

В процессе проектирования с учетом надежности упор делается на физической природе отказов с учетом их статистического распределения. Этот процесс может включать следующие шаги:

• ***Определение требований надежности*** - ожидаемый срок эксплуатации и допустимая совокупная вероятность отказа в конце срока эксплуатации.

• ***Определение условий нагрузки*** - условия эксплуатации (например, IPC-SM-785) и перепады температур из-за рассеяния мощности, которые могут изменяться и вызывать большое число мини-циклов (Energy Star).

• ***Определение/выбор архитектуры платы*** - выбор компонентов и материала платы, свойства материалов (например, коэффициент теплового расширения) и геометрии соединений.

• ***Оценка надежности*** - определение потенциала надежности разрабатываемого печатного узла и сравнение с требованиями надежности с использованием подхода, приведенного в данном документе, подхода «Показатели качества» или другой подходящей технологии; процесс оценки надежности может быть итеративным.

• ***Сопоставление технических показателей, стоимости и требований надежности.***

8.7 Контроль пригодности и квалификационные испытания Методы функционального тестирования и квалификационные требования определяются стандартом IPC-9701; в IPC-9701A включены руководящие указания по испытаниям надежности бессвинцовых паяных соединений. Однако из-за отсутствия в настоящее время общепринятых моделей ускоренных испытаний на надежность квалификационные требования к качеству бессвинцовых паяных соединений на данный момент не сформулированы.

Контроль пригодности и квалификационные испытания должны соответствовать требованиям стандарта IPC-SM-785, «*Руководство по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений по технологии поверхностного монтажа*». Однако для больших компонентов со значительным рассеянием тепла, для компонентов асимметричной конструкции, а также при небольшой разнице коэффициентов теплового расширения компонента и платы циклические температурные испытания не могут дать требуемую информацию; необходимы полнофункциональные циклы испытаний, включая внешние температурные циклы и внутренние циклы мощности.

8.8 Процедуры контроля

8.8.1 Дефекты паяных соединений Самое большое отрицательное влияние на надежность оказывают дефекты паяных соединений, связанные с неадекватным смачиванием по разным причинам. Надлежащим образом смоченные паяные соединения обладают адекватной прочностью даже в условиях жестких механических нагрузок, а также им не свойственно снижения надежности при циклическом изменении температуры. Однако, паяные соединения, не смоченные надлежащим образом, могут преждевременно выйти из строя в результате механических и температурных циклических нагрузок.

Пустоты в паяных соединениях обычно расцениваются как не угрожающие надежности. Возможными исключениями являются большие пустоты, снижающие площадь поперечного сечения, что приводит к снижению теплопроводности контакта, а также в высокочастотных устройствах, в которых пустоты могут вызвать ухудшение характеристик сигнала.

Компоненты BGA с неосаживающимися шариковыми выводами (высокотемпературный припой 90% Pb, 10% Sn с точкой плавления 302°C) обычно не имеют пустот в выводах, т.к. шарик не плавится во время пайки.

8.8.2 Рекомендации по проведению испытаний Эффективные испытания должны вызывать отказы, вызванные скрытыми дефектами паяных соединений, например, ослаблением несмоченных соединений без заметного повреждения качественных паек.

Наилучшей рекомендацией является испытание случайной вибрацией (6-10 grms за 10-20 минут), предпочтительно при низкой температуре, например, 40°C. При этой нагрузке не происходит повреждения хороших паяных соединений, но происходит перенапряжение ослабленных.

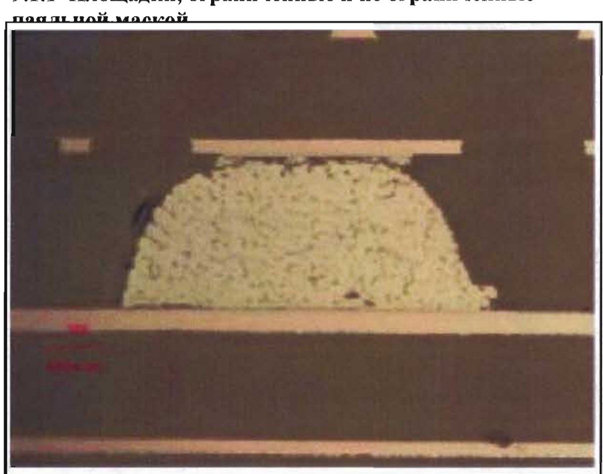
Также можно успешно применять тепловой удар, однако при этом возможно повреждение некоторых качественных соединений, особенно на больших компонентах.

9 АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ОТКАЗОВ НА РЕАЛЬНЫХ ПРИМЕРАХ

В данной главе описаны возможные отказы печатных узлов, связанные с установкой компонентов BGA. Описание включает отказы, возникшие после окончания сборки и связанные с характеристиками монтажной конструкции, а также отказы, связанные с шариковыми выводами BGA. Во многих случаях сплавы соединений обсуждаются отдельно, если их характеристики содействовали возникновению отказа. Также подвергается анализу окончательная конструкция соединения.

9.1 Контактные площадки BGA, ограниченные паяльной маской Существует два способа ограничения контактных площадок BGA: с помощью паяльной маски (SMD), при котором размер площадки больше размера отверстия в паяльной маске, и расплавленный шариковый вывод BGA касается паяльной маски после оплавления. Другим методом создания контактной площадки BGA называется протравленная площадка или площадка, ограниченная металлом (NSMD); при этом отверстие маски больше, чем медная площадка, поэтому шарик не касается паяльной маски после оплавления. Эти состояния показаны на рисунках 9.1.1 и 9.1.2.

9.1.1 Площадки, ограниченные и не ограниченные паяльной маской



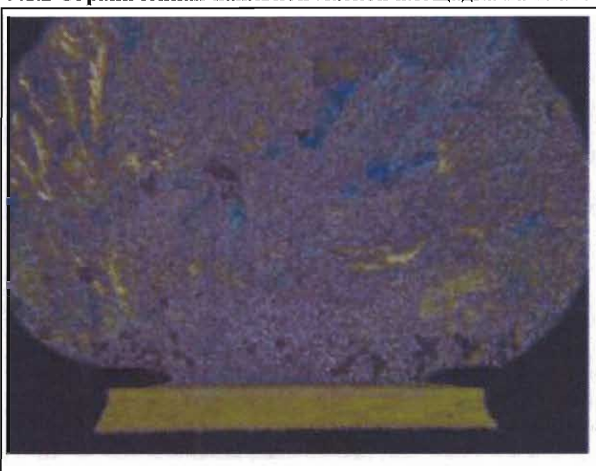
Вероятная причина

Площадки промежуточной подложки ограничены паяльной маской; площадки платы ограничены металлом. При большом различии площадей создаются неоднородные напряжения и возникают трещины на стороне, ограниченной маской. Размер площадок платы слишком велик.

Возможное решение

Площадки с двух сторон соединения должны быть подобными или идентичными. Кроме того, на площадках, ограниченных паяльной маской, возникает дополнительное напряжение, и следует избегать их применения как на промежуточной подложке, так и на плате.

9.1.2 Ограниченная паяльной маской площадка на плате



Вероятная причина

Паяльная маска слишком далеко заходит на площадку на уровне платы. Это состояние создает напряжения в шарике, способствующие распространению трещин при колебаниях температуры.

Возможное решение

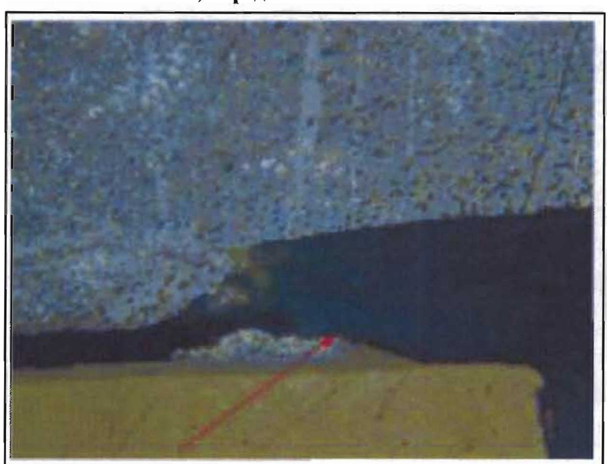
Проектируйте платы только с использованием площадок, ограниченных металлом (NSMD).

Основным недостатком площадки, ограниченной паяльной маской (SMD), является концентрация напряжений, возникающих в паяном соединении, которые могут быть источником отказа соединения и снижения надежности. Пример отказа показан на рисунке 9.1.3. При использовании контактных площадок NSMD, не ограничиваемых паяльной маской (металлом) можно ожидать увеличения усталостной выносливости паяных соединений одинаковой высоты в 1,25 – 3 раза даже в более жестких условиях эксплуатации.

Площадки SMD имеют три основных недостатка:

- Меньше свободное пространство для выхода с верхней стороны
- Недостаточная точность размеров площадки
- Пониженная надежность, являющаяся причиной ранних отказов паяных соединений

9.1.3 Отказы BGA, определяемые паяльной маской



В припое образовалась трещина и постепенно опустилась через интерметаллический слой. Также под паяльной маской видно включение никеля.

Вероятная причина

Трещина начинается в припое от острого угла паяльной маски. Распространению трещины способствуют напряжения в шарике.

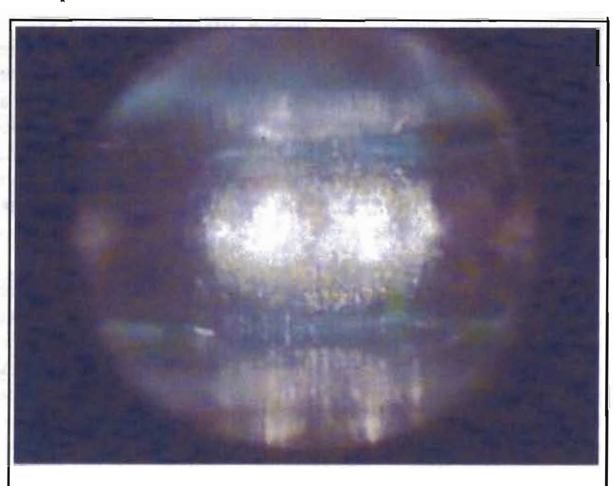
Возможное решение

Проектируйте платы только с использованием площадок, ограниченных металлом (NSMD).

9.2 Избыточная осадка шариковых выводов

Обычно в пластиковых компонентах BGA происходит осадка шариковых выводов от исходной высоты 750 мкм до высоты около 625 мкм. После пайки корпуса на плату шариковый вывод осаживается примерно до 500 мкм. Однако если в корпусе установлен радиатор для отвода тепла, то в зависимости от его массы шарик может осесть вплоть до 300 мкм. Когда шарик становится плоским, происходит снижение надежности из-за уменьшения высоты паяного соединения и снижения его податливости. Также из-за расширения шарикового вывода расстояние между соседними выводами может стать недопустимо малым. После первого оплавления высота шарика уменьшается примерно на 10%; из-за дополнительной массы радиатора высота может уменьшиться на 25% от первоначального диаметра шарика. Конфигурация контактных площадок и расстояние до паяльной маски также необходимо учитывать при анализе дефекта. На рисунках 9.2.1 - 9.2.4 показаны крайние случаи осаживания шарика.

9.2.1 Шариковый вывод компонента BGA без радиатора. Зазор компонент-плата 500 мкм



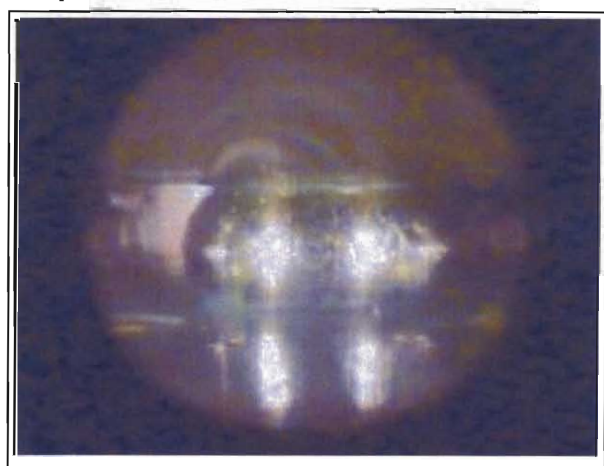
Вероятная причина

Вес BGA не приводит к чрезмерному оседанию шарика. Это состояние может служить эталоном для других BGA или шариков на этом же BGA.

Возможное решение

При необходимости увеличить зазор используйте проставку. Ее можно использовать для контроля отклонений степени оседания шарика.

9.2.2 Шариковый вывод компонента BGA с радиатором. Зазор компонент-плата 375 мкм



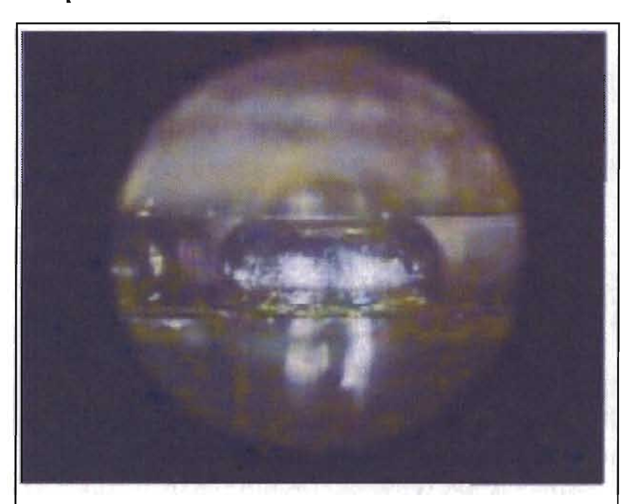
Вероятная причина

Вес BGA с радиатором приводит к чрезмерному оседанию шарика. Эта деформация приемлема при шаге выводов компонента, при котором не происходит соприкосновение шариков.

Возможное решение

Обязательно использовать проставку для предотвращения оседания шариков .

9.2.3 Шариковый вывод компонента BGA с радиатором. Зазор компонент-плата 300 мкм



Вероятная причина

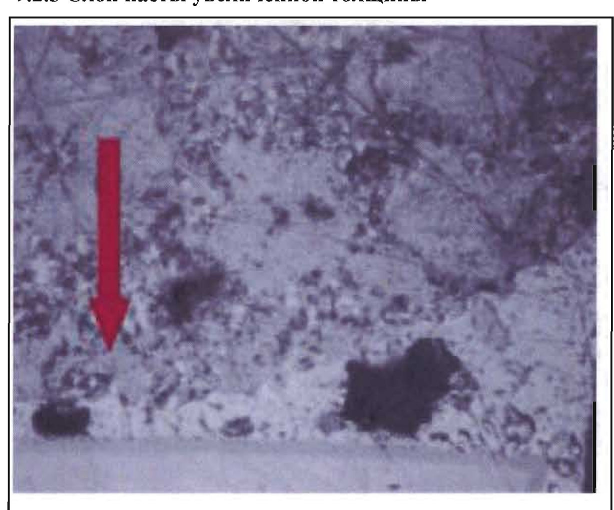
Вес BGA с радиатором приводит к чрезмерному оседанию шарика. Это явное ухудшение качества, требующее мер по устранению недостатков.

Возможное решение

Обязательно использовать проставку для предотвращения оседания шариков .

9.2.4 Объем паяльной пасты Формирование качественного паяного соединения выводов компонента BGA зависит от объема наносимой паяльной пасты не в очень большой степени, т.к. шарик сам является источником припоя. Однако для пайки керамических BGA (CBGA) очень важно нанести необходимый объем паяльной пасты. Рекомендуемый объем паяльной пасты для 890 мкм корпуса CBGA составляет от 0,12 до 0,08 мм^3. Если паяльной пасты недостаточно, как показано на рисунке 9.3.1, надежность паяного соединения может оказаться недостаточной. Причиной, по которой припой должен быть добавлен для формирования паяного соединения, является то, что тугоплавкие шариковые или столбиковые выводы в этом случае не являются источниками припоя.

9.2.5 Слой пасты увеличенной толщины



Вероятная причина

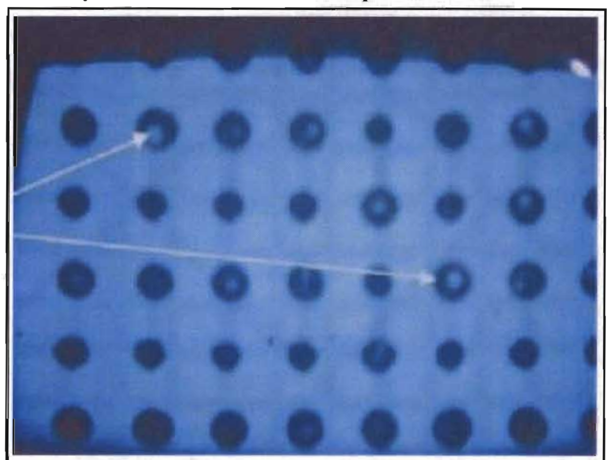
Толстый слой пасты обусловлен неправильным размером отверстия в трафарете, задающем контур площадки BGA.

Возможное решение

Уменьшить толщину трафарета; выполнить микротравление в области BGA; уменьшить отверстие в трафарете.

9.2.6 Определение пустот в выводах при помощи рентгеновского контроля и микрошлифа С помощью простой просвечивающей рентгеновской установки можно обнаружить наличие пустот (светлые участки) и установить их координаты X и Y. С использованием этой технологии контроля также можно обнаружить неровные или отсутствующие шариковые выводы (различные диаметры выводов на изображении). Пример такого состояния показан в 9.4.1. Однако для определения вертикального положения (ось Z) пустот в шарике необходимо использование послойной рентгеновской системы контроля.

9.2.7 Пустоты и неодинаковые шариковые выводы



Вероятная причина

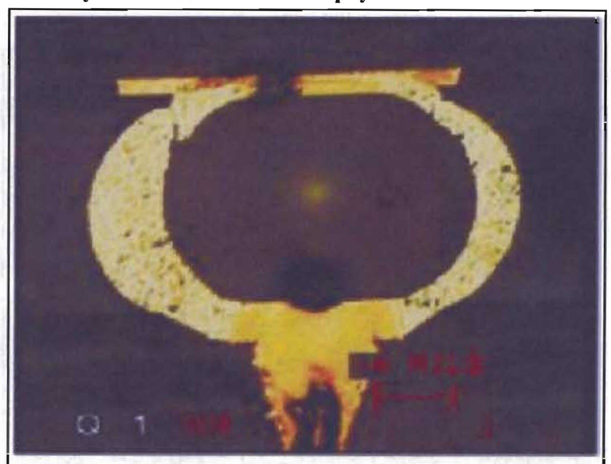
- Чрезмерное образование пустот в паяном соединении.
- Конструкция "переход в площадке" (в этом случае пустоты не считаются дефектом согласно IPC-A-610D)
- Профиль с высокой скоростью подъема температуры
- Ситуация совместимости снизу вверх (оловянно-свинцовый шарик BGA с бессвинцовой паяльной пастой)

Возможное решение

- Оцените структурные напряжения в соединении с использованием микроскопических методов
- Используйте профиль оплавления с длительным периодом стабилизации
- Избегайте ситуаций, указанных как вероятные причины

Существует множество причин образования пустот в выводах компонентов BGA. Однако наличие пустот не несет опасности снижения надежности соединения. Даже при наличии пустот, показанных на рис. 9.4.2, соединение может выдержать 1000 температурных циклов (без ударов, от 0 до 100°C); на практике чаще встречаются обычные пустоты, показанные в 9.4.1. Хотя пустоты не влияют на надежность соединений, избыточное количество пустот является индикатором ошибок проектирования или технологического процесса. Надежность связана с условиями эксплуатации изделия.

9.2.8 Пустота вида "яичная скорлупа"



Микропереходное отверстие 0.65 мм после 1000 циклов
Оседание паяного соединения привело к отказу из-за разрыва контакта

Вероятная причина

Захват воздуха или других газов при оплавлении. Вероятный выход воздуха или других газообразных выделений из микроперехода в ПП.

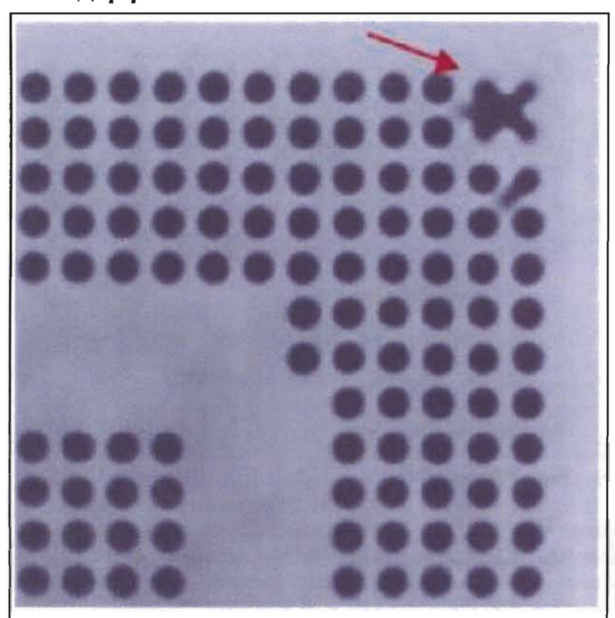
Возможное решение

Удалите компонент и замените новым.

9.3 Изгиб и кручение подложки BGA Пластиковые компоненты BGA имеют тенденцию к деформации во время пайки оплавлением. Деформация может возникать в подложке BGA или на печатной плате, на которую установлен компонент. В результате может возникать обрыв или замыкание паяного соединения, которое подвергается нагрузкам. Температура (профиль пайки), конструкция компонента BGA, объем паяльной пасты и условия охлаждения, – все это может способствовать возникновению дефектов. Замыкания в угловых шариковых выводах являются индикаторами деформации компонента BGA, при которой углы корпуса загибаются внутрь ("хмурый" BGA).

Замыкания соединений происходят на соседних и / или противоположных углах BGA из-за изгиба подложки вниз и приложения механического усилия к угловым шарикам. По этой же причине шарики, удаленные от углов, могут отрываться от печатной платы, если она деформируется в противоположную сторону (от "нахмуренности" к "улыбчивости"), как показано на рис. 9.5.1.

9.3.1 Деформация подложки BGA



Вероятная причина

- Деформация BGA, вызванная термомеханическими напряжениями, возникшими во время пайки оплавлением.
- Проверьте состояние остальных углов .
- Может быть вызвана деформацией подложки BGA, сопровождающейся подъемом по углам.

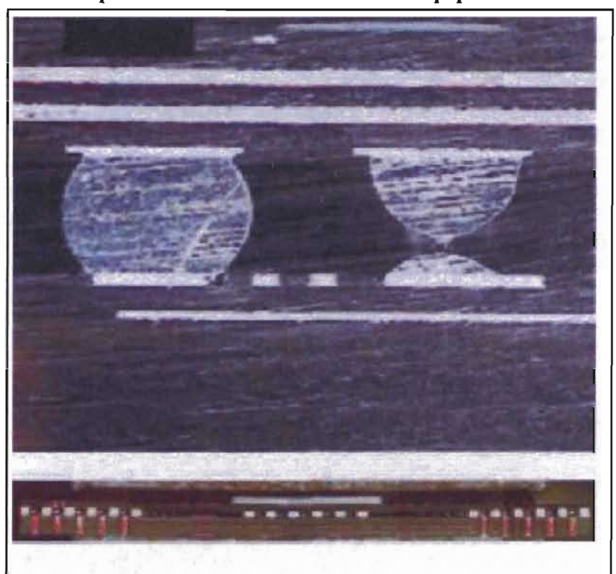
Возможное решение

- Увеличьте размер шариков по углам или используйте точечное нанесение клея. В некоторых случаях помогает тепловой экран в процессе оплавления.
- Верните корпус поставщику.
- Проверьте компланарность при температуре оплавления методом теневого муара

Обрывы в угловых шариковых выводах являются индикатором деформации BGA, при которой углы корпуса приподнимаются. Такие обрывы, как показано в 9.5.3, можно уменьшить добавлением большего количества паяльной пасты со стороны деформации.

Добавление дополнительного количества припоя является временной мерой и не решает проблему. Определение и устранение причин отклонения является более важной задачей для организации устойчивого процесса. Использование избыточного количества паяльной пасты (изменение конфигурации отверстий трафарета) говорит о том, что процесс пайки уже оптимизирован, основную причину изгиба нельзя устранить, т.к. BGA невозможно перепроектировать, нельзя изменить подложку BGA, а также печатную плату. Кроме того, отклонение должно возникать постоянно, а не как случайное событие. Решение об использовании большего объема припоя для коррекции деформации должно приниматься на основе анализа большого количества условий. Бывают случаи, когда при устранении одного недостатка возникают шесть других (перемычки, образование шариков припоя и пр.).

9.3.2 Разрыв паяных соединений из-за деформации



Вероятная причина

- Отказ обусловлен недостаточным выходом пасты из трафарета или недостаточным размером шарика.
- Деформирован корпус ("улыбчивый" BGA) с приподнятыми угловыми шариками.

Возможное решение

- Выполните перед сборкой входной контроль шариков.
- Верните корпус поставщику, организуйте входной контроль и аудит источника, нанесите дополнительно пасту на угловые площадки.

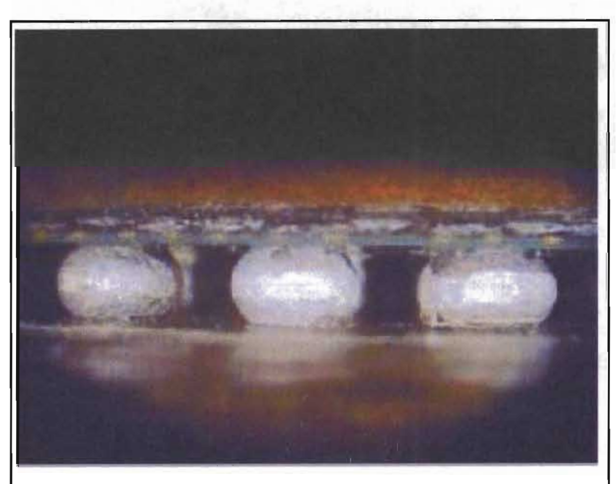
9.4 Состояние шариковых выводов Следующие разделы посвящены состояниям шариковых выводов в связи с печатной платой и подложкой компонента. Во всех случаях приводятся описания причин, приведших к возникновению конкретного состояния.

9.4.1 Желательное состояние выводов



Вероятная причина
Шариковые вывода имеют однородную форму и структуру и симметрично совмещаются с контактными площадками, наблюдается оседание шариков BGA сверху и снизу .
Возможное решение
Запишите параметры и обеспечьте стабильность процесса.

9.4.2 Избыточное окисление шариковых выводов



Вероятная причина
Окисление шариковых выводов произошло из-за многократных циклов оплавления припоя (с верхней или нижней стороны).
Возможное решение
Значительного ослабления окисления можно достичь, выбирая подходящий флюс, снижая количество циклов оплавления до двух и исключая промывку ПП между циклами пайки.

9.4.3 Недостаточное смачивание



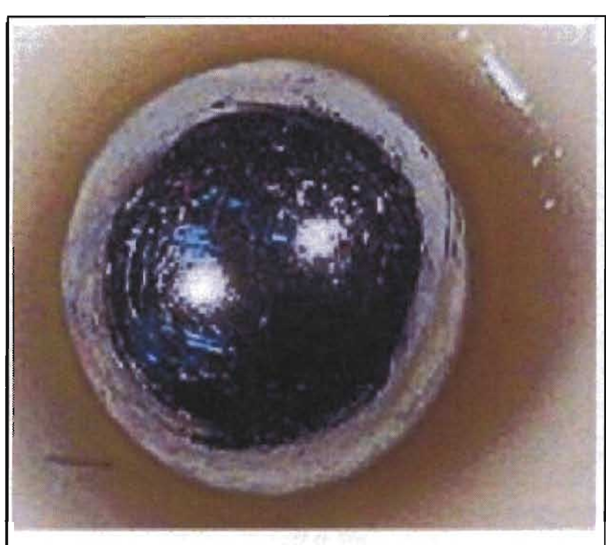
Вероятная причина
Недостаточное смачивание припоем поверхности контактной площадки может происходить из-за избыточного окисления площадки и органических загрязнений. Дополнительный вклад дает некачественное покрытие площадок. Покрытие ENIG используется в системах с низким и высоким содержанием фосфора. Недостаточное смачивание ENIG вызвано окислением барьерного слоя Ni при недостатке P на поверхности.
Возможное решение
Разработайте плановый эксперимент для определения основных причин возникновения этого явления.

9.4.4 Неоднородная структура



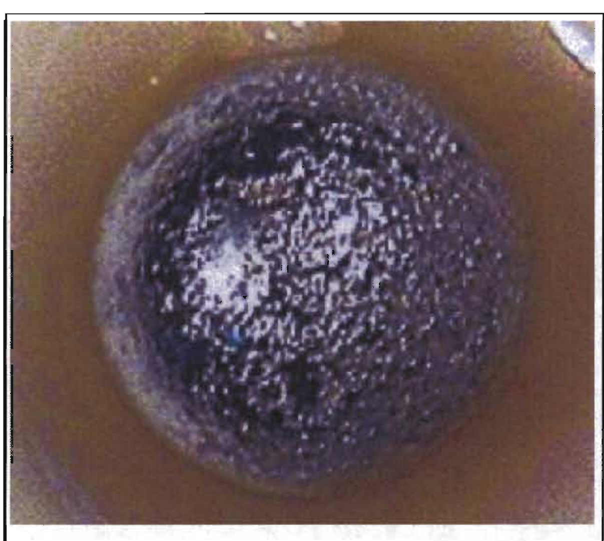
Вероятная причина
Неоднородная структура припоя возникает обычно в результате перегрева в процессе пайки оплавлением или при избыточном / повторяющемся воздействии температур, превышающих температуру плавления.
Возможное решение
Для устранения этого явления необходимо установить влияние параметров процесса на структуру шариков.

9.4.5 Нарушена геометрия оловянно-свинцового шарика



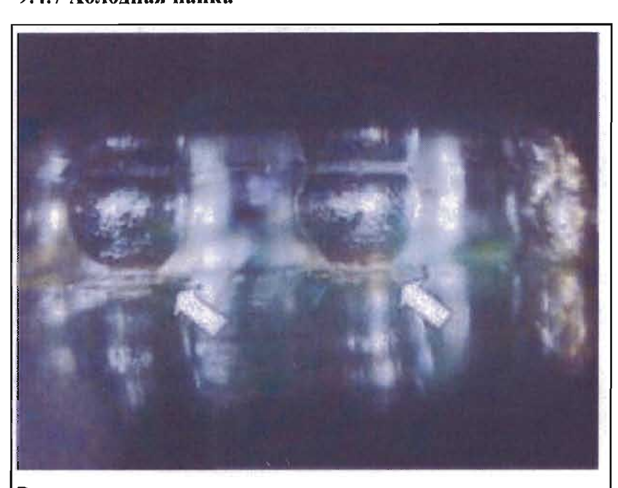
Вероятная причина
При оплавлении пасты не образуется правильная геометрия шарикового вывода.
Возможное решение
Выполните стандартизацию процесса.

9.4.6 Сплав SAC



Вероятная причина
Нерегулярная структура поверхности оловянно-серебряно-медного сплава.
Возможное решение
Определите характеристик пасты и шарика экспериментальным путем.

9.4.7 Холодная пайка



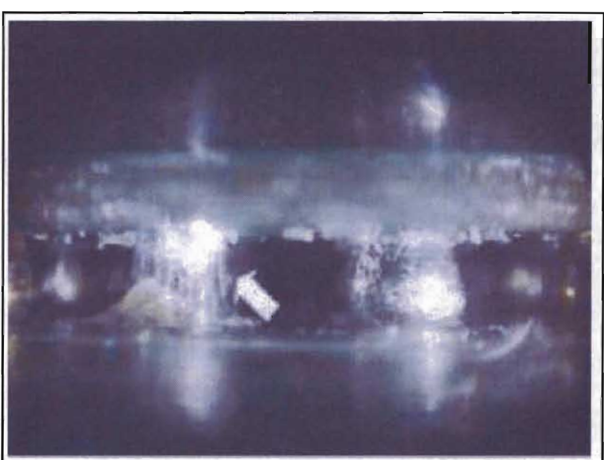
Вероятная причина
Контактные площадки не полностью смочены припоем шариковых выводов Явление вызывается некачественным нанесением паяльной пасты и загрязнением места присоединения, что затрудняет смачивание.
Возможное решение
Проверьте трафарет и процесс печати для нанесения пасты в достаточном количестве.

9.4.8 Неполное соединение из-за загрязнения площадки



Вероятная причина
Органическое загрязнение может негативно сказаться на равномерности и полноте соединения шарикового вывода и площадки ПП. Перед нанесением паяльной пасты площадка не была достаточно чистой, чтобы обеспечить надлежащее смачивание.
Возможное решение
Проверьте чистоту технологического процесса. Организуйте правильное хранение ПП и порядок обращения, исключающий загрязнение и пребывание в условиях, вызывающих окисление.

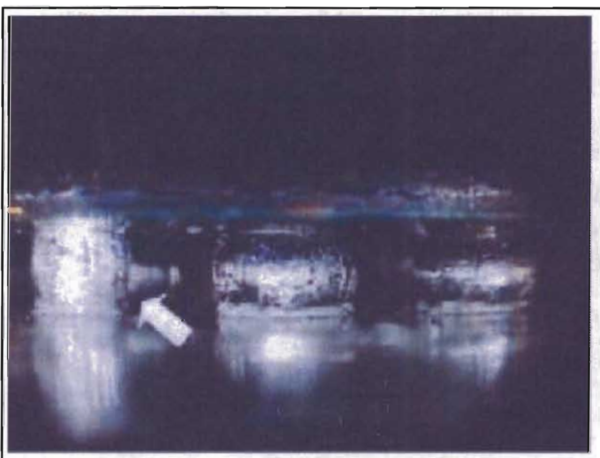
9.4.9 Деформация шарикового вывода из-за смещения



Вероятная причина
Деформация шарикового вывода может возникнуть из-за смещения компонента в процессе пайки (деформация корпуса или платы) и/или при неправильной конфигурации контактных площадок.

Возможное решение
Избегайте перегрева, который ухудшает характеристики подложки.

9.4.10 Деформация шарикового вывода



Вероятная причина
Деформация шарика (в виде столбика) может происходить из-за временной деформации подложки во время пайки оплавлением. В этом случае угол подложки корпуса при повышении температуры поднимается, удаляясь от поверхности платы. В этом состоянии припой остывает до твердого состояния, сохраняя форму столбика. Эта деформация называется динамической, потому что усиливается с ростом температуры оплавления. После охлаждения подложка может принять первоначальную форму, если этому не препятствует затвердевший припой.

Возможное решение
Явление вызвано несовпадением коэффициентов теплового расширения материалов в корпусе или на плате. Хотя полное устранение этого явления средствами управления процессом поверхностного монтажа невозможно, его можно ослабить, избегая перегрева подложки и платы.

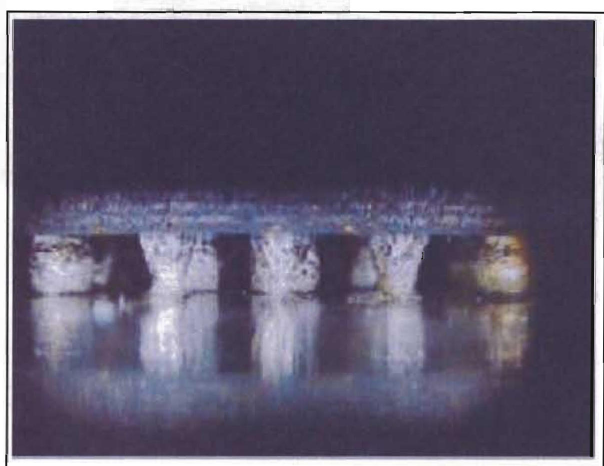
9.4.11 Недостаточное количество припоя и флюса для формирования соединения



Вероятная причина
Шариковый вывод завис в воздухе из-за отсутствия флюса и припоя. Этот дефект возникает из-за закупорки отверстия в трафарете во время нанесения пасты через трафарет. По соединению шарикового вывода слева видно, что два материала не полностью перешли в жидкое состояние.

Возможное решение
Проверьте трафарет и нанесение пасты, а также содержание флюса в паяльной пасте.

9.4.12 Неполный контакт



Вероятная причина
Дефект может возникать из-за деформации корпуса вверх в показанной области. Три центральных соединения растянуты до формы столбиков, а соседние выводы сохраняют сферическую форму.

Возможное решение
Не допускать перемещений во время отвердевания шариков BGA, а также перегрева в процессе оплавления.

9.4.13 Возникновение перемычек припоя



Вероятная причина

Перемычки между контактами, образуемые избытком припоя обычно образуются из-за переноса остатков паяльной пасты во время нанесения припоя или из-за того, что трафарет не полностью касался поверхности платы в процессе нанесения.

Возможное решение

Проверьте отверстия в трафарете и не допускайте нанесения избыточного количества пасты.

9.4.14 Неполное оплавление припоя



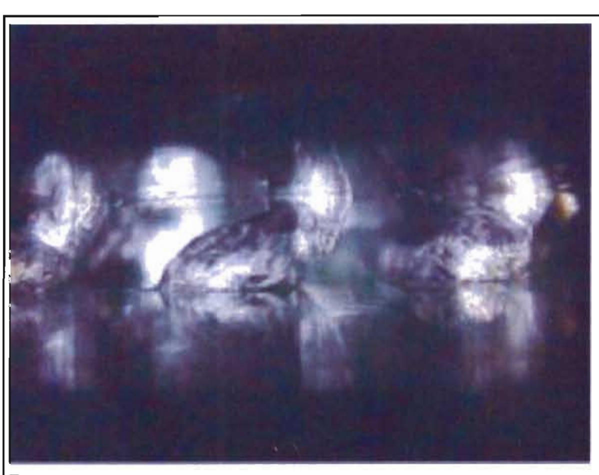
Вероятная причина

Шариковый вывод на подложке и паяльная паста на плате не полностью перешли в жидкое состояние в процессе пайки оплавлением.

Возможное решение

Приведите профиль оплавления в соответствие с паяльной пастой, используемой в соединении.

9.4.15 Возмущенная поверхность паяного соединения



Вероятная причина

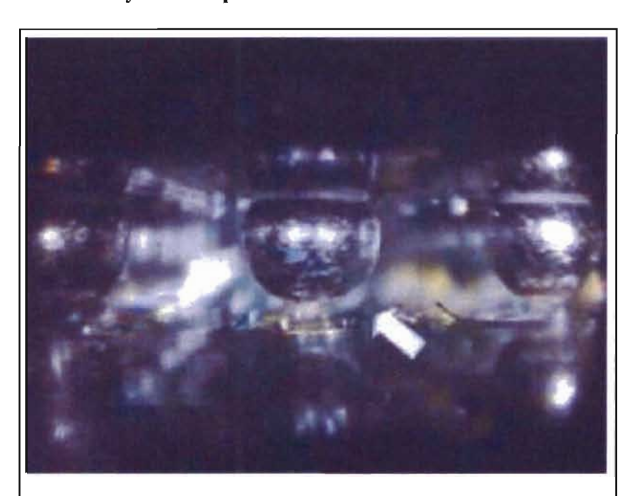
Дефект является результатом смещения корпуса во время отверждения расплавленного припоя.

Смещение может быть вызвано физическим контактом с компонентом или сильным ударом по плате.

Возможное решение

Проверьте конвейер и способ захвата сборки в печи оплавления.

9.4.16 Отсутствие припоя



Вероятная причина

Дефект возникает в результате отсутствия на площадке платы паяльной пасты под корпусом. Наличие паяльной пасты необходимо для формирования паяного соединения. Нанесенная паста оплавляется в процессе пайки и соединяется с расплавом припоя BGA, образуя паяное соединение.

Возможное решение

Проверьте апертуру трафарета и устраните закупорку отверстий паяльной пастой. Кроме того, убедитесь, каждое отверстие в конструкции трафарета соответствует определенной площадке ПП для поверхностного монтажа.

10 ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ГЛОССАРИЙ

AABUS	As Agreed Upon Between User and Supplier (по согласованию пользователя с поставщиком)
ASIC	Application-Specific IC (специализированная ИС)
ASM	Array Surface Mount (матричный поверхностный монтаж)
ASMP	Application Specific Module Packaging (корпусирование специализированных модулей)
BGA	Ball Grid Array (матрица шариковых выводов)
BOC	Board-On-Chip (однокристальная микросхема)
BT	Bismaleimide-Triazine (бисмалеимид триазин)
CBGA	Ceramic Ball Grid Array (керамическая матрица с шариковыми выводами)
CGA	Column Grid Array (матрица столбиковых выводов)
COB	Chip-On-Board (кристалл на плате)
CPU	Central Processing Unit (процессор)
CSP	Chip Scale Packages (компонент, размер которого совпадает с размером кристалла)
CTE	Coefficient of Thermal Expansion (коэффициент теплового расширения)
CTF	Critical To Function (узел ответственного назначения)
DBDPE	Decabromodiphenyl Ether (декабромодифенил эфир)
DDR-SDRAM	Double-Data-Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory (сдвоенная синхронная оперативная память)
Df	Dissipation Factor (фактор рассеивания)
DfR	Design for Reliability (проектирование с учетом надежности)
DIG	Direct Immersion Gold (прямое иммерсионное золочение)
Dk	Dielectric Constant (диэлектрическая постоянная)
DSBGA	Die-Size Ball Grid Array (однокристальная матрица шариковых выводов)
ENEPIG	Electroless Nickel/Electroless Palladium/ Immersion Gold (химический никель / химический палладий / иммерсионное золото)
ENIG	Electroless Nickel Immersion Gold (химический никель /иммерсионное золото)
FAT	Flux Activation Time (время активации флюса)
FBGA	Fine Pitch Ball Grid Array (BGA с малым шагом выводов)
FC	Flip Chip (монтаж типа "перевернутый кристалл")
FPT	Fine Pitch Technology (технология с малым шагом выводов)
FRBGA	Fine-Pitch, Rectangular Ball Grid Array (прямоугольная матрица шариковых выводов с малым шагом)
HASL	Hot Air Solder Level (выравнивание припоя горячим воздухом)
HAST	Highly Accelerated Stress Testing (усиленные испытания с высоким ускорением)
HDB	High Density Printed Boards (печатная плата с высокой плотностью установки компонентов)
I/O	Input/Output (вход / выход)
IMC	Intermetallic Compound (интерметаллическое соединение)
IR	Infrared (инфракрасный)
Kirkendall Voiding	http://www.electronicproducts.com/rohs/ ?filename=dfr.sep2005.html
LCP	Liquid Crystal Polymer (жидкокристаллический полимер)
LFBGA	Low-Profile Fine-Pitch Ball Grid Array (компонент низкой высоты с матрицей шариковых выводов с малым шагом)
LMC	Least Material Condition (состояние наименьших затрат материалов)
MCM	Multichip Module (многокристальный модуль)
MCM-L	Multichip Module-Laminate (MCM с использование ламинированного диэлектрика)
MCP	Multichip Package (многокристальный корпус)
MD	Metal Defined (ограниченный металлом)
MDS	Multi Device Subassembly (многокомпонентный подузел)
MLC	Multilayer Ceramic (многослойная керамика)
MMB	Moisture Membrane Bag (мембранный влагостойкий пакет)
MMC	Maximum Material Condition (состояние максимального расхода материалов)
NAND	Not "And" (логич. "не И"
NSMD	Nonsolder Mask Defined (площадки, не ограничиваемые маской)
OEM	Original Equipment Manufacturer (производитель оригинального оборудования)
OSP	Organic Solderability Preservative (органическая защита поверхности)
PBB	Polybrominated Biphenyl (полиброминированный бифенил)
PBBO	Polybrominated Biphenyl Oxide (полиброминированный бифенил оксид)
PBDE	Polybrominated Diphenyl Ether (полиброминированный бифенил эфир)
PBGA	Plastic Ball Grid Array (пластиковый компонент с матрицей шариковых выводов)
PCA	Printed Circuit Assembly (печатная сборка)
PCB	Printed Circuit Board (печатная плата)
PCM	Phase Change Materials (материалы с фазовым переходом)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PGA	Pin Grid Array (матрица штырьковых выводов)
PLCC	Plastic Leaded Chip Carrier (пластиковый кристаллодержатель CC)
PSA	Pressure Sensitive Adhesives (чувствительные к давлению адгезивы)
PTH	Plated Through-Hole (металлизированное отверстие)
QFP	Quad Flat Pack (плоский корпус QFP с четырехсторонним расположением выводов)
RDS	Rectangular Die Size (прямоугольный кристалл)
RF	Radio Frequency (радиочастота)
RFID	Radio Frequency Identification (определение радиочастоты)
RMS	Root Mean, Square (среднеквадратичное значение)
RoHS	Restriction of Hazardous Substances (запрет на использование опасных веществ)
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory (синхронная динамическая память с произвольней выборкой)
SMD	Solder Mask Defined (площадка, ограничиваемая паяльной маской
SMOBC	Solder Mask Over Bare Copper (паяльная маска поверх обнаженной меди)
SMT	Surface Mounting Technology (технология поверхностного монтажа)
SO-DIMM	Small Outline Dual In-Line Memory Module (малогабаритный встроенный сдвоенный модуль памяти
SOIC	Small Outline Integrated Circuit (малогабаритная ИС)
SPC	Statistical Process Control (статистический контроль процесса)
SRAM	Static Random Access Memory (статическая память с произвольным доступом)
SSO	Simultaneously Switching Output (выход с одновременным переключением)
TAB	Tape-Automated Bonding (автоматизированная сборка кристаллов на ленточном носителе)

TBBPA	Tetrabromobisphenol A (тетрабромобисфенол A)
TBGA	Tape Ball Grid Array (ленточная матрица шариковых выводов)
Td	Decomposition Temperature (температура разложения)
TFBGA	Thin Profile Fine Pitch Ball Grid Array (тонкопрофильный FBGA)
T_g	Transition Temperature (температура перехода)
TIM	Thermal Interface Materials (материалы теплового интерфейса)
UFPT	Ultra Fine Pitch Technology (техн. свехмалого шага выводов)
UtRAM	Uni-transistor Random Access Memory (однотранзисторная память)
UUT	Unit Under Test (объект испытаний)
UV	Ultraviolet (ультрафиолетовое излучение)
VFBGA	Very Thin-Profile Fine-Pitch Ball Grid Array (сверхнизкопрофильный компонент BGA с малым шагом выводов)

11 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ССЫЛКИ

[1] Davignon, John, and Gray, Foster. ''An evaluation of via hole tenting with solder mask designed to pass Mil-P-55110D thermal shock requirements.'' Proceedings of Technical Program SMI 91, San Jose, August 25-29, 1991, pp. 905-921.

[2] Denkler, J. D. ''The speed of liquid.' Circuits Manufacturing, May 1986, pp. 21-24.

[3] John Lau, 'Ball Grid Array Technology'' 1995. p. 122. Shows a graph of relative PCB cost per layer count.

[4] ''Designed Experiment to Determine Attachment Reliability Drivers for PBGA Packages,'' Theo I. Eijm, Albert Holliday, Frank E. Bader and Steven Gahr. AT&T Bell Laboratories, Princeton, NJ.

[5] ''Thermal and Power Cycling Limits of Plastic Ball Grid Array (PBGA) Assemblies,'' Robert Darveaux and Andrew Mawer, Motorola.

[6] ''Designed Experiment to Determine Attachment Reliability Drivers for PBGA Packages,'' Theo I. Eijm, Albert Holliday, Frank E. Bader and Steven Gahr. AT&T Bell Laboratories, Princeton, NJ.

[7] Ref: Robert Crowley, Chip Scale Review, May 1998, p37).

[8] IPC-TR-462, 'Solderability Evaluation of Printed boards with Protective Coatings over Long Term Storage,' October 1987, IPC Publications.

[9] Katchmar, R., ''Position Dependence of CTE in Plastic Ball Grid Arrays,'' Proc. Int. Electronics Packaging Conf. (IEPS), Atlanta, September 1994, pp. 271-283.

[10] Katchmar, R., ''Position Dependence of CTE in Plastic Ball Grid Arrays,'' Proc. Int. Electronics Packaging Conf. (IEPS), Atlanta, September 1994, pp. 271-283.

[11] Mawer, A. J., S. C. Bolton, and E. Mammo, ''Plastic BGA Solder Joint Reliability Considerations,'' Proc. Surface Mount International Conf., San Jose, CA, August-September 1994, pp. 239-251.

[12] Engelmaier, W., ''Solder Joint Reliability for BGAs and Other Advanced Electronic Components, ''Workshop Notes, Engelmaier Associates, L.C., Ormond Beach, FL, 1999.

[13] Mawer, A. J., S. C. Bolton, and E. Mammo, ''Plastic BGA Solder Joint Reliability Considerations,'' Proc. Surface Mount International Conf., San Jose, CA, August-September 1994, pp. 239-251.

[14] Attarwala, A. I., and R. Stierman, ''Failure Mode Analysis of a 540 Pin Plastic Ball Grid Array,'' Proc. Surface Mount International Conf., San Jose, CA, August-September 1994, pp. 252-257.

[15] Phelan, G., and S. Wang, ''Solder Ball Connection Reliability Model and Critical Parameter Optimization,'' Proc. 43rd Electronic Components and Technology Conf., Orlando, FL, June 2-4, 1993, pp. 858-862.

[16] Rukavina, J., ''Ball Grid Array Attachment Methodologies,'' Proc. Ball Grid Array Nat. Symp., Dallas, TX, March 1995.

[17] Bogatin, E., ''BGAs for Workstation Application,'' Proc. Ball Grid Array Nat. Symp., Dallas, TX, March 1995.

[18] ANSI/IPC-MF-150F, ''Metal Foil for Printed Wiring Applications,'' The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, Lincolnwood, IL, October 1991.

[19] Hines, L. L., ''SOT-23 Surface Mount Attachment Reliability Study,'' Proc. 7th Annual Int. Electronics Packaging Conf. (IEPS), Boston, MA, November 1987, pp. 613-629.

[20] Orsten, G. S. F.,W. New, Y. Wang, and M. L. Peloquin ''SMT Considerations in Spaceflight and Critical Military Applications,'' Proc. 18th Ann. Electronics Manufacturing Seminar, China Lake, CA, February 1994, pp. 75-89.

[21] Orsten, G. S. F., ''The Problems Associated with Adhesive Bonding of Components on Surface Mount Assemblies,'' Proc. 19th Ann. Electronics Manufacturing Seminar, China Lake, CA, February 1995, pp. 153-163.

[22] Engelmaier, W., ''Reliability Figures of Merit for Surface Mount Solder Attachments of Components: 2nd Generation Generic Design Tools,'' Proc. Surface Mount International Conf., San Jose, CA, August 1991, pp. 1239-1243.